



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118265589 A

(43) 申请公布日 2024. 06. 28

(21) 申请号 202280074382.5

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

(22) 申请日 2022.08.01

专利代理师 郭忠健

(30) 优先权数据

2021-194988 2021.11.30 JP

(51) Int.Cl.

B23K 20/12 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/029562 2022.08.01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/100420 JA 2023.06.08

(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

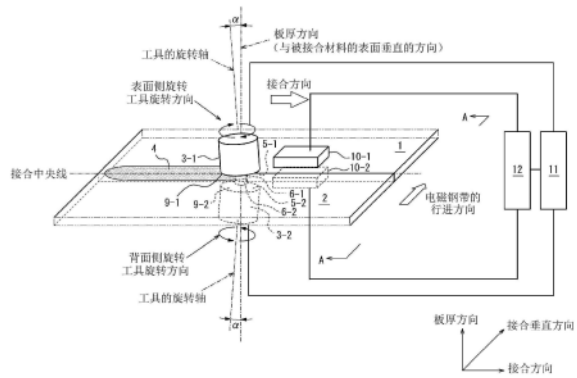
权利要求书3页 说明书34页 附图13页

(54) 发明名称

电磁钢带的摩擦搅拌接合方法以及电磁钢带的制造方法

(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,另外,在旋转工具的耐久性这点上也有利。进行预热式双面摩擦搅拌接合,并且旋转工具的肩部的直径D(mm)满足下式(7)的关系,并且,由旋转工具的转速RS(次/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×D³/JS满足下式(8)的关系。4×TJ≤D≤10×TJ…(7) 180×TJ≤RS×D³/JS≤1500×TJ…(8)。



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:

预热工序,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前方的加热装置对所述被接合材料的未接合部进行预热;和

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,

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,

使所述加热装置与所述旋转工具联动地在接合方向上移动,由此连续地进行所述预热工序和所述接合工序,

另外,所述旋转工具的肩部的直径D满足下式(7)的关系,并且

由所述旋转工具的转速RS、所述旋转工具的肩部的直径D及接合速度JS表示的 $RS \times D^3 / JS$ 满足下式(8)的关系,

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \cdots (7)$$

$$180 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 1500 \times TJ \cdots (8)$$

这里,在未接合部为对接部的情况下,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,

在未接合部为重叠部的情况下,TJ是重叠部的厚度,

其中,所述直径D、TJ的单位是mm,所述转速RS的单位是次/分钟,所述接合速度JS的单位是mm/分钟。

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,

$$D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \cdots (1)$$

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \cdots (2)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \cdots (3)$$

$$0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \cdots (4)$$

这里,

D_{sz} 是接合部的铁素体粒径的平均值,

D_{haz1} 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,

D_{haz2} 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,

D_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值,

D_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值,

H_{sz} 是接合部的硬度的平均值,

H_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

H_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

其中,所述 D_{sz} 、 D_{haz1} 、 D_{haz2} 、 D_{bm1} 、 D_{bm2} 的单位是 μm 。

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,其特征在於,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,

$$0.8 \times T_{bmL} \leq T_{szL} \cdots (5)$$

$$T_{szH} \leq 1.3 \times T_{bmH} \cdots (6)$$

这里,

T_{szL} 是接合部的厚度的最小值,

T_{szH} 是接合部的厚度的最大值,

T_{bmL} 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,

T_{bmH} 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 $T_{bmL} = T_{bmH}$,

其中,所述 T_{szL} 、 T_{szH} 、 T_{bmL} 、 T_{bmH} 的单位是mm。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,在所述接合工序中,所述旋转工具的肩部间的间隙 G 满足下式(9)的关系,

$$0.4 \times T_J \leq G \leq 0.9 \times T_J \cdots (9),$$

其中,所述间隙 G 的单位是mm。

5. 根据权利要求1~4中任一项所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,所述旋转工具是无探针的旋转工具。

6. 根据权利要求5所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,所述旋转工具的前端面是平面、凸型的曲面或凹型的曲面。

7. 根据权利要求5或6所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,所述旋转工具的前端面具有旋转相反方向的旋涡状的台阶部。

8. 根据权利要求7所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,所述旋涡状的台阶部从所述旋转工具的前端面的中心朝向外周逐渐变低。

9. 根据权利要求7所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,所述旋涡状的台阶部从所述旋转工具的前端面的中心朝向外周逐渐变高。

10. 根据权利要求5~9中任一项所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,所述旋转工具的倾斜角度 α 为 0° 。

11. 根据权利要求1~10中任一项所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,在所述预热工序中,所述被接合材料的预热温度满足下式(11)~(13)的关系,

$$100 \leq TP_{W=0} \leq 1000 \cdots (11)$$

$$100 \leq TP_{W=0.2D} \leq 1000 \cdots (12)$$

$$50 \leq TP_{W=0.5D} \leq 800 \cdots (13)$$

这里, W 是从被焊接材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离, $TP_{W=0}$ 、 $TP_{W=0.2D}$ 及 $TP_{W=0.5D}$ 分别是 $W=0$ 、 $0.2 \times D$ 及 $0.5 \times D$ 的位置处的被接合材料的表面的预热温度,另外, D 是旋转工具的肩部的直径 D ,

其中,所述 W 、 D 的单位是mm,所述 $TP_{W=0}$ 、 $TP_{W=0.2D}$ 及 $TP_{W=0.5D}$ 的单位是 $^\circ\text{C}$ 。

12. 根据权利要求11所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在於,在所述预热工序中,所述被接合材料的预热温度满足下式(14)及(15)的关系,

$$0.70 \leq TP_{W=0.2D} / TP_{W=0} \leq 1.00 \cdots (14)$$

$$TP_{W=0.5D}/TP_{W=0} \leq 0.45 \cdots (15)。$$

13. 根据权利要求1~12中任一项所述的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,所述加热装置是高频感应加热装置、激光照射加热装置或者将高频感应加热装置及激光照射加热装置组合而成的装置。

14. 一种电磁钢带的制造方法,其特征在于,具备:

通过权利要求1~13中任一项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。

电磁钢带的摩擦搅拌接合方法以及电磁钢带的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电磁钢带的摩擦搅拌接合方法以及电磁钢带的制造方法。

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

[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:日本特开2000-334577号公报
- [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5185103号
- [0023] 专利文献11:日本特开2015-127063号公报
- [0024] 专利文献12:日本特开2003-181655号公报
- [0025] 专利文献13:日本特开2003-290936号公报
- [0026] 专利文献14:日本特开2004-195480号公报
- [0027] 专利文献15:日本特开2011-115846号公报
- [0028] 专利文献16:日本专利第6332561号
- [0029] 专利文献17:日本专利第6332562号
- [0030] 专利文献18:日本专利第6497451号
- [0031] 专利文献19:日本特开2020-124739号公报
- [0032] 非专利文献1:Cui,L.;Fujii,H.;Tsuji,N.;Nogi,K.Scripta Mater.2007,56, p.637-640.

[0033] 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:在生产线上、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。

[0034] 另外,由于在电磁钢板的生产线上电磁钢带被连续地输送,因此也期望卷材接合的施工效率的提高。另外,伴随着卷材接合的施工效率的提高,也期望旋转工具的耐久性提高(寿命延长)。

发明内容

[0035] 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,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,另外,在旋转工具的耐久性方面也有利。

[0036] 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。

[0037] 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,得出以下见解。

[0038] (a) 如上述那样,在电磁钢板的成分组成中,含有大量的例如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。

[0039] (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。

[0040] (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,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。

[0041] 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。

[0042] 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4~19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。

[0043] 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。

[0044] (d) 为了有利地解决上述(a)~(c)的问题,重要的是以下的点。

[0045] • 对被接合材料进行预热处理。

[0046] • 作为接合方式应用所谓的双面摩擦搅拌接合。

[0047] • 在此基础上,旋转工具的肩部的直径D(mm)满足下式(7)的关系。

[0048] • 另外,适当地控制接合条件。特别是,由旋转工具的转速RS(次/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(8)的关系。

[0049] 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。另外,在旋转工具的耐久性这点上也有利。此外,以下,将进行针对被接合材料的预热处理的双面摩擦搅拌接合也称为预热式双面摩擦搅拌接合。

$$[0050] \quad 4 \times T_J \leq D \leq 10 \times T_J \cdots (7)$$

$$[0051] \quad 180 \times T_J \leq RS \times D^3 / JS \leq 1500 \times T_J \cdots (8)$$

[0052] 这里,在未接合部为对接部的情况下, T_J 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),

[0053] 在未接合部为重叠部的情况下, T_J 是重叠部的厚度(mm)。

[0054] (e) 另外,优选在同时满足上述式(7)及(8)的关系的基础上,使接合部及热加工影响部的钢组织为铁素体主体的组织,且同时实现接合部及热加工影响部的钢组织的微细化、和接合部与母材部的硬度差的降低。具体而言,优选同时满足下式(1)~(4)的关系。

[0055] 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。

$$[0056] \quad D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \cdots (1)$$

$$[0057] \quad Dhaz1 \leq Dbm1 \cdots (2)$$

$$[0058] \quad Dhaz2 \leq Dbm2 \cdots (3)$$

$$[0059] \quad 0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \cdots (4)$$

[0060] 这里,

[0061] D_{sz} 是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0062] $Dhaz1$ 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),

[0063] $Dhaz2$ 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),

[0064] $Dbm1$ 是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0065] $Dbm2$ 是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0066] Hsz 是接合部的硬度的平均值,

[0067] $Hbm1$ 是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0068] $Hbm2$ 是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0069] (f) 此外,作为接合方式而应用预热式双面摩擦搅拌接合,且同时满足上述式(7)及(8)的关系,由此搅拌能力进一步提高。因此,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)。即,探针(销)在通常的旋转工具(以下,也称为有探针的旋转工具)中,以从肩部突出的方式配置在旋转工具的前端部。因此,对探针施加比肩部大的应力,容易产生破损、磨损。由此,无探针的旋转工具的使用在旋转工具的耐久性、寿命延长,进而(因旋转工具的磨耗、破损而引起的)接合不良率的降低这点上也变得极其有利。这里,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。

[0070] (g) 另外,在无探针的旋转工具中,优选在旋转工具的前端面设置旋转相反方向的旋涡状的台阶部。由此,能够促进塑性流动,提高接合速度,进一步提高施工效率。

[0071] 本发明是基于上述的见解进一步加以研究而完成的。

[0072] 即,本发明的主旨结构如下。

[0073] 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:

[0074] 预热工序,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前方的加热装置对上述被接合材料的未接合部进行预热;和

[0075] 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所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,

[0076] 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,

[0077] 使上述加热装置与上述旋转工具联动地在接合方向上移动,由此连续地进行上述预热工序和上述接合工序,

[0078] 另外,上述旋转工具的肩部的直径D(mm)满足下式(7)的关系,并且

[0079] 由上述旋转工具的转速RS(次/分钟)、上述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(8)的关系,

$$[0080] \quad 4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \cdots (7)$$

$$[0081] \quad 180 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 1500 \times TJ \cdots (8)$$

[0082] 这里,在未接合部为对接部的情况下,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),

[0083] 在未接合部为重叠部的情况下,TJ是重叠部的厚度(mm)。

[0084] 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,

[0085] 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。

$$[0086] \quad D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \cdots (1)$$

$$[0087] \quad D_{haz1} \leq D_{bm1} \cdots (2)$$

$$[0088] \quad D_{haz2} \leq D_{bm2} \cdots (3)$$

$$[0089] \quad 0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \cdots (4)$$

[0090] 这里,

[0091] D_{sz} 是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0092] D_{haz1} 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),

[0093] D_{haz2} 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),

[0094] D_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0095] D_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0096] H_{sz} 是接合部的硬度的平均值,

[0097] H_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0098] H_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0099] 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,

[0100] 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。

$$[0101] \quad 0.8 \times T_{bmL} \leq T_{szL} \cdots (5)$$

[0102] $T_{szH} \leq 1.3 \times T_{bmH} \cdots (6)$

[0103] 这里,

[0104] T_{szL} 是接合部的厚度的最小值(mm),

[0105] T_{szH} 是接合部的厚度的最大值(mm),

[0106] T_{bmL} 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),

[0107] T_{bmH} 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)。

[0108] 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 $T_{bmL} = T_{bmH}$ 。

[0109] 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,

[0110] 在上述接合工序中,上述旋转工具的肩部间的间隙 G (mm)满足下式(9)的关系。

[0111] $0.4 \times T_J \leq G \leq 0.9 \times T_J \cdots (9)$

[0112] 5.根据上述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,

[0113] 上述旋转工具是无探针的旋转工具。

[0114] 6.根据上述5所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0115] 上述旋转工具的前端面是平面、凸型的曲面或者凹型的曲面。

[0116] 7.根据上述5或6所记载的电磁钢带的双面摩擦搅拌接合方法,其中,

[0117] 上述旋转工具的前端面具有旋转相反方向的旋涡状的台阶部。

[0118] 8.根据上述7所记载的电磁钢带的双面摩擦搅拌接合方法,其中,

[0119] 上述旋涡状的台阶部从上述旋转工具的前端面的中心朝向外周逐渐变低。

[0120] 9.根据上述7所记载的电磁钢带的双面摩擦搅拌接合方法,其中,

[0121] 上述旋涡状的台阶部从上述旋转工具的前端面的中心朝向外周逐渐变高。

[0122] 10.根据上述5~9中任一项所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0123] 上述旋转工具的倾斜角度 α 为 0° 。

[0124] 11.根据上述1~10中任一项所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0125] 在上述预热工序中,上述被接合材料的预热温度满足下式(11)~(13)的关系。

[0126] $100 \leq TP_{W=0} \leq 1000 \cdots (11)$

[0127] $100 \leq TP_{W=0.2D} \leq 1000 \cdots (12)$

[0128] $50 \leq TP_{W=0.5D} \leq 800 \cdots (13)$

[0129] 这里, W 是从被焊接材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离(mm), $TP_{W=0}$ 、 $TP_{W=0.2D}$ 及 $TP_{W=0.5D}$ 分别是 $W=0$ 、 $0.2 \times D$ 及 $0.5 \times D$ 的位置处的被接合材料的表面的预热温度($^\circ\text{C}$)。另外, D 是旋转工具的肩部的直径 D (mm)。

[0130] 12.根据上述11所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0131] 在上述预热工序中,上述被接合材料的预热温度满足下式(14)及(15)的关系。

[0132] $0.70 \leq TP_{W=0.2D} / TP_{W=0} \leq 1.00 \cdots (14)$

[0133] $TP_{W=0.5D} / TP_{W=0} \leq 0.45 \cdots (15)$

[0134] 13.根据上述1~12中任一项所记载的电磁钢带的摩擦搅拌接合方法,其中,

[0135] 上述加热装置是高频感应加热装置、激光照射加热装置或者将高频感应加热装置及激光照射加热装置组合而成的装置。

[0136] 14.一种电磁钢带的制造方法,其中,具备:

[0137] 通过上述1~13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

[0138] 对该接合钢带实施冷轧而得到冷轧钢带的工序。

[0139] 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。另外,能够抑制缺陷产生,并且使接合速度高速化,特别是能够将接合速度高速化为3500mm/分钟以上、进一步高速化为4000mm/分钟以上,因此施工效率优异,在生产率这点上也极其有利。另外,即使使接合速度高速化,也能够得到优异的旋转工具的耐久性(旋转工具的长寿命化)。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。另外,在根据本发明的一个实施方式的预热式双面摩擦搅拌接合中,能够使用无探针的旋转工具,因此在旋转工具的进一步的耐久性提高、进而接合不良率的降低这点上也极其有利。

附图说明

[0140] 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,且是表示通过预热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。

[0141] 图1B是图1A的A-A向视图。

[0142] 图1C是图1A的俯视图。

[0143] 图1D是图1A的接合中央线位置处的剖视图。

[0144] 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有探针的旋转工具的形状的一个例子的示意图。

[0145] 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有探针的旋转工具的形状的一个例子的示意图。

[0146] 图3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无探针的旋转工具(前端平面旋转工具)的形状的一个例子的示意图。

[0147] 图4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无探针的旋转工具(前端凸型旋转工具)的形状的一个例子的示意图。

[0148] 图5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无探针的旋转工具(前端凹型旋转工具)的形状的一个例子的示意图。

[0149] 图6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无探针的旋转工具(设置有台阶部的前端平面旋转工具)的形状的一个例子的示意图。

[0150] 图7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无探针的旋转工具(设置有台阶部的前端凸型旋转工具)的形状的一个例子的示意图。

[0151] 图8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无探针的旋转工具(设置有台阶部的前端凹型旋转工具)的形状的一个例子的示意图。

[0152] 图9是对划分台阶部的旋涡为两个,且等间隔地配置(绘制)旋涡的方法进行说明的图。

[0153] 图10是对划分台阶部的旋涡为三个,且等间隔地配置(绘制)旋涡的方法进行说明的图。

[0154] 图11是对划分台阶部的旋涡为四个,且等间隔地配置(绘制)旋涡的方法进行说明

的图。

[0155] 图12是对划分台阶部的旋涡为五个,且等间隔地配置(绘制)旋涡的方法进行说明的图。

[0156] 图13是对划分台阶部的旋涡为六个,且等间隔地配置(绘制)旋涡的方法进行说明的图。

[0157] 图14是表示设置有阶梯状的台阶部的前端凸型旋转工具的一个例子的示意图。

[0158] 图15是表示设置有槽状的台阶部的前端凸型旋转工具的一个例子的示意图。

[0159] 图16是表示设置有槽状的台阶部的前端平面旋转工具的一个例子的示意图。

[0160] 图17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。

具体实施方式

[0161] 基于以下的实施方式对本发明进行说明。

[0162] [1]电磁钢带的摩擦搅拌接合方法

[0163] 首先,使用图1A~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~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。

[0164] 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是加热装置(表(正)面侧加热装置),10-2是加热装置(背面侧加热装置),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($^{\circ}$),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表示基于加热装置的预热(预定)区域。此外,从容易观察的观点出发,在图1B及图1C中,用虚线表示10-1的加热装置(表面侧加热装置)和/或10-2的加热装置(背面侧加热装置)。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。

[0165] 另外,在图1A~1D中,

[0166] 通过接合方向(旋转工具的行进方向);

[0167] 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1中与接合部的宽度方向及电磁钢带的行进方向一致);以及

[0168] 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。

[0169] 例如,在图1B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1B所示的面内,包括接合垂直方向和板厚方向。另外,用虚线表示的10-1及10-2的加热装置位于比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的加热装置位于比预热区域H及I靠纸面近前侧的位置。

[0170] 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,对该接合钢带进行冷轧后的电磁钢带也称为冷轧钢带。另外,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例如优选在电磁钢带的生产线、特别是连续冷轧线上实施。这里,连续冷轧线是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。

[0171] 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应用预热式双面摩擦搅拌接合。其中,

[0172] • 旋转工具的肩部的直径 $D(\text{mm})$ 满足下式(7)的关系,并且

[0173] • 由旋转工具的转速 $RS(\text{次/分钟})$ 、旋转工具的肩部的直径 $D(\text{mm})$ 及接合速度 $JS(\text{mm/分钟})$ 表示的 $RS \times D^3/JS$ 满足下式(8)的关系。

[0174] $4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \cdots (7)$

[0175] $180 \times TJ \leq RS \times D^3/JS \leq 1500 \times TJ \cdots (8)$

[0176] 这里,在未接合部为对接部的情况下, 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),

[0177] 在未接合部为重叠部的情况下, TJ 是重叠部的厚度(mm)。

[0178] 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:

[0179] 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:

[0180] 预热工序,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前方的加热装置对上述被接合材料的未接合部进行预热;和

[0181] 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,

[0182] 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,

[0183] 使上述加热装置与上述旋转工具联动地在接合方向上移动,由此连续地进行上述预热工序和上述接合工序,

[0184] 另外,上述旋转工具的肩部的直径 $D(\text{mm})$ 满足上述式(7)的关系,并且

[0185] 由上述旋转工具的转速 $RS(\text{次/分钟})$ 、上述旋转工具的肩部的直径 $D(\text{mm})$ 及接合速度 $JS(\text{mm/分钟})$ 表示的 $RS \times D^3/JS$ 满足上述式(8)的关系。

[0186] 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。

[0187] 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含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。

[0188] 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。

[0189] 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1(图1A~图1D)那样的通过预热式双面摩擦搅拌接合进行对接接合的情况来进行说明。预热式双面摩擦搅拌接合方法是在将作为被接合材料的第一电磁钢带和第二电磁钢带预热之后,使用相互对置的一对旋转工具来将它们接合的摩擦搅拌接合方法。即,使相互对置的一对旋转工具从预热的被接合材料的未接合部的两面一边相互向相反方向旋转一边进行按压。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。

[0190] 在这样的预热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:

[0191] 把持被接合材料的把持装置(未图示);

[0192] 相互对置的一对旋转工具;

[0193] 上述旋转工具的驱动装置;

[0194] 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前方的加热装置;以及

[0195] 上述把持装置、上述旋转工具的驱动装置及上述加热装置的动作控制装置。

[0196] 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加热装置向接合方向的移动速度)、压入载荷、旋转工具的转速、旋转扭矩及加热装置的输出等。

[0197] 在预热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,将加热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前方。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)的加热装置称为表面侧加热装置,将配置于被接合材料的背面侧(铅垂方向下侧)的加热装置称为背面侧加热装置。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。

[0198] 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。

[0199] 然后,对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)的对接部进行预热。接着,使旋转工具从两面一边相互向相反方向旋转一边按压于预热的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。通过基于该预热的向被接合材料的热输入、和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,由此使其产生塑性流动,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。特别是,通过预热被接合材料而使未接合部的软化变得容易,能够促进利用旋转工具的搅拌。其结果是,能够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,并且使接合速度高速化,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。

[0200] 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预热工序及接合工序详细地进行说明。

[0201] [预热工序]

[0202] 在预热工序中,将加热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行进方向的前方,通过加热装置对被接合材料的未接合部进行预热。此外,使加热装置与旋转工具联动地在接合方向上移动,由此能够连续地进行预热工序和后述的接合工序。另外,通过预热被接合材料而使未接合部的软化变得容易,能够促进利用旋转工具的搅拌。其结果是,能够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,并且使接合速度高速化,能够实现高施工效率。另外,即使使接合速度高速化,也能够得到优异的旋转工具的耐久性(旋转工具的长寿命化)。

[0203] 接下来,使用图1C,以将加热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,对优选的预热温度等进行说明。这里,被接合材料的预热温度是在预热结束时刻(加热装置的通过时刻)的被接合材料的表面的温度(不是内部温度而是表面温度)。而且,优选被接合材料的预热温度在被接合材料的两面满足以下的要件。此外,在将加热装置仅配置于被接合材料的任一个面的情况下(以下,也称为单面配置),只要被接合材料的预热温度在被接合材料的两面满足以下的要件,则也能够得到相同的效果。因此,省略对单面配置的例子说明。

$$[0204] \quad 100 \leq TP_{w=0} \leq 1000 \cdots (11)$$

$$[0205] \quad 100 \leq TP_{w=0.2D} \leq 1000 \cdots (12)$$

$$[0206] \quad 50 \leq TP_{w=0.5D} \leq 800 \cdots (13)$$

[0207] 在预热式双面摩擦搅拌接合中,重要的是通过基于预热的向被接合材料的热输入、和被接合材料与旋转工具的摩擦热,使被接合材料软化,来促进利用旋转工具的搅拌。为此,适当地控制图1C所示的预热区域I(被接合材料的表面中的 $0 \leq W \leq 0.1 \times D$ 的区域)及预热区域H(被接合材料的表面中的 $0.1 \times D < W \leq 0.5 \times D$)的预热温度、特别是作为这些加热区域的代表位置的 $W=0$ 、 $0.2 \times D$ 及 $0.5 \times D$ 的位置处的被接合材料的预热温度是有效的。从这样的观点出发,优选将被接合材料的预热温度控制为满足上述式(11)~(13)的关系。这里, W 是从被焊接材料的接合中央线向接合垂直方向分离的距离(mm), $TP_{w=0}$ 、 $TP_{w=0.2D}$ 及 $TP_{w=0.5D}$ 分别是 $W=0$ 、 $0.2 \times D$ 及 $0.5 \times D$ 的位置处的被接合材料的表面的预热温度(°C)。另外, D 是旋转工具的肩部的直径D(mm)。此外,预热区域是通过加热装置被预热的被接合材料的表面区域。

[0208] $0.70 \leq TP_{W=0.2D} / TP_{W=0} \leq 1.00 \cdots (14)$

[0209] $TP_{W=0.5D} / TP_{W=0} \leq 0.45 \cdots (15)$

[0210] 另外,在预热工序中,更优选在被接合材料的预热温度满足上述式(11)~(13)的关系的基础上,进一步满足上述式(14)及(15)的关系。即,为了得到基于预热的塑性流动促进效果,提高被接合材料的预热温度是有效的。但是,若过度提高被接合材料的预热温度,则存在在预热区域的周边产生微观组织的变质的情况。因此,在接合中央线附近的预热区域I提高预热温度,另一方面,在远离接合中央线的预热区域H抑制预热温度更加有效。特别是,针对作为预热区域I及预热区域H的代表位置的 $W=0, 0.2 \times D$ 及 $0.5 \times D$ 的位置处的被接合材料的预热温度,将 $TP_{W=0.2D}$ 相对于 $TP_{W=0}$ 之比亦即 $TP_{W=0.2D} / TP_{W=0}$ 设为 $0.70 \sim 1.00$ 的范围,且将 $TP_{W=0.5D}$ 相对于 $TP_{W=0}$ 之比亦即 $TP_{W=0.5D} / TP_{W=0}$ 控制为 0.45 以下是有效的。因此,在预热工序中,更优选被接合材料的预热温度满足上述式(14)及(15)的关系。

[0211] 另外,在预热工序中使用的加热装置没有特别地限定,例如可以举出高频感应加热装置、激光照射加热装置。

[0212] 这里,在使用高频感应加热装置作为加热装置的情况下,例如,将使用频率在 20kHz 以上 360kHz 以下的范围内进行各种调整,并且将输出在 10kW 以上 200kW 以下的范围内进行各种调整。由此,能够控制被接合材料的表面温度以满足上述式(11)~(15)的关系。

[0213] 另外,在使用激光照射加热装置作为加热装置的情况下,例如,将激光的波长在 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $11\mu\text{m}$ 以下的范围内进行各种调整,并且将输出在 2kW 以上 50kW 以下的范围内进行各种调整。由此,能够控制被接合材料的表面温度以满足上述式(11)~(15)的关系。

[0214] 此外,作为加热装置,也可以使用将多个种类的加热装置组合而成的装置,例如将高频感应加热装置及激光照射加热装置组合而成的装置。

[0215] 另外,只要加热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(行进)方向的前方,则加热装置与旋转工具之间的距离、预热区域的范围(以下,也称为预热范围)没有特别地限定。不过,若加热装置与旋转工具的距离变得过小,则存在旋转工具因加热装置产生的热而损伤的担忧。因此,优选考虑加热效率、对被接合材料的影响来决定加热装置与旋转工具的位置关系。例如,在利用使用频率为 $20 \sim 360\text{kHz}$ 的高频感应加热装置的例子中,优选将加热装置与旋转工具之间的距离(接合方向上的端部间距离)设为 $1\text{mm} \sim 100\text{mm}$ 的范围。另外,预热范围也没有特别地限定,但从满足上述式(11)~(15)的关系的观点出发,优选将接合垂直方向上的预热范围的中心位置设为 $0 \leq W \leq 0.1 \times D$ 的范围。此外,预热范围例如能够通过调整加热装置的配置、输出及频率来进行控制。

[0216] [接合工序]

[0217] 在上述的预热工序中,在对被接合材料的未接合部进行预热后,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。

[0218] 而且,在该接合工序中,重要的是:

[0219] • 旋转工具的肩部的直径 $D(\text{mm})$ 满足上述式(7)的关系,并且

[0220] • 由旋转工具的转速 $RS(\text{次/分钟})$ 、旋转工具的肩部的直径 $D(\text{mm})$ 及接合速度 $JS(\text{mm/分钟})$ 表示的 $RS \times D^3 / JS$ 满足上述式(8)的关系。

[0221] 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,从而能够有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

[0222] 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 $4 \times TJ$ (mm),则存在无法得到充分的塑性流动的情况。另一方面,若肩径D超过 $10 \times TJ$ (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,导致接合部的再结晶组织的粗大化。因此,肩径D满足上述式(7)的关系。肩径D优选为 $5 \times TJ$ (mm)以上。另外,肩径D优选为 $9 \times TJ$ (mm)以下。

[0223] 此外,在无探针的旋转工具的情况下,如图3~图5所示,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)。

[0224] 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 $180 \times TJ \sim 1500 \times TJ$,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 $180 \times TJ$,则存在发热量变得不充分的情况。因此,存在难以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的情况。另一方面,若 $RS \times D^3/JS$ 超过 $1500 \times TJ$,则摩擦搅拌产生的发热量变得过大,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。因此,从成为满足规定的关系的条件的观点出发, $RS \times D^3/JS$ 满足上述式(8)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。

[0225] 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(7)及(8)的关系。

[0226] 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,优选在通过第一电磁钢带与第二电磁钢带的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,能够更有效地抑制生产线上的卷材接合部的断裂产生。

$$[0227] \quad D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \cdots (1)$$

$$[0228] \quad Dhaz1 \leq Dbm1 \cdots (2)$$

$$[0229] \quad Dhaz2 \leq Dbm2 \cdots (3)$$

$$[0230] \quad 0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \cdots (4)$$

[0231] 这里,

[0232] D_{sz} 是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0233] $Dhaz1$ 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),

[0234] $Dhaz2$ 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),

[0235] $Dbm1$ 是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0236] Dbm2是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0237] Hsz是接合部的硬度的平均值,

[0238] Hbm1是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0239] Hbm2是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0240] 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。

$$[0241] \quad 0.8 \times T_{bmL} \leq T_{szL} \cdots (5)$$

$$[0242] \quad T_{szH} \leq 1.3 \times T_{bmH} \cdots (6)$$

[0243] 这里,

[0244] T_{szL} 是接合部的厚度的最小值(mm),

[0245] T_{szH} 是接合部的厚度的最大值(mm),

[0246] T_{bmL} 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),

[0247] T_{bmH} 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)。

[0248] 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 $T_{bmL} = T_{bmH}$ 。

[0249] 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的那样。

[0250] 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(9)的关系。

$$[0251] \quad 0.4 \times T_J \leq G \leq 0.9 \times T_J \cdots (9)$$

[0252] 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,适当地控制旋转工具的肩部间的间隙 G (以下,也称为肩部间间隙 G)是有利的。此外,肩部间间隙 G 也可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 $0.4 \times T_J \sim 0.9 \times T_J$ 的范围内,则相互对置的旋转工具的肩部以充分的载荷按压于被接合材料的表面侧及背面侧,能够充分促进接合部中的发热及向板厚方向的塑性流动。由此,能够得到更加良好的状态的接合接头。另一方面,若肩部间间隙 G 超过 $0.9 \times T_J$,则旋转工具的肩部没有以充分的载荷按压于被接合材料的表面侧及背面侧,存在无法得到上述的效果的情况。另外,若肩部间间隙 G 不足 $0.4 \times T_J$,则接合部的表面及背面成为过度的凹形,存在对接头强度产生不良影响的情况。因此,肩部间间隙 G 优选为 $0.4 \times T_J \sim 0.9 \times T_J$ 的范围。肩部间间隙 G 更优选为 $0.5 \times T_J$ 以上。另外,肩部间间隙 G 更优选为 $0.8 \times T_J$ 以下。

[0253] 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,旋转工具的倾斜角度 α 没有特别地限定,例如优选在表面侧旋转工具和背面侧旋转工具双方满足下式(10)的关系。

$$[0254] \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 4^\circ \cdots (10)$$

[0255] 这里, α 是包含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+。

[0256] 此外,在双面摩擦搅拌接合方法中通常使用的有探针的旋转工具中,更加优选在

表面侧旋转工具和背面侧旋转工具这两者中,使工具的旋转轴倾斜,即 $0^\circ < \alpha$ 。由此,由于探针的前端相对于接合方向先行,因此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。其结果是,弯曲方向的力被降低,旋转工具的破坏风险被降低。由此,在使用有探针的旋转工具的情况下,更优选为 $0^\circ < \alpha$ 。另外,更优选为 $\alpha \leq 2^\circ$ 。

[0257] 另一方面,在无探针的旋转工具中,不需要考虑因探针的局部应力集中而引起的破损。因此,更加优选在表面侧旋转工具和背面侧旋转工具这两者中,使旋转工具的倾斜角度 α 为 0° ,即在包含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,工具的旋转轴与板厚方向平行。由此,接合部的表背面成为凹形,接合部的厚度相对于被接合材料的厚度之比降低。其结果是,能够避免对接头强度产生不良影响的倾向。另外,也具有能够省略用于赋予/设定旋转工具的倾斜角度 α 的装置的控制机构等优点。此外,旋转工具的倾斜角度 α 允许 $\pm 0.3^\circ$ 。

[0258] 关于上述以外的条件,只要是满足上述式(7)及(8)的关系,优选满足上述式(1)~(6)、(9)及(10)的关系的条件,则没有特别地限定,只要按照常规方法即可。

[0259] 例如,旋转工具的转速优选为200~6000r/min(次/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300r/min以上。另外,旋转工具的转速更优选为5000r/min以下。

[0260] 接合速度优选为1000~10000mm/min(mm/分钟)。接合速度更优选为2000mm/min以上,进一步优选为3500mm/min以上,更进一步优选为4000mm/min以上,更进一步优选为5000mm/min以上。

[0261] 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。

[0262] 此外,如图1A~图1D所示,在预热式双面摩擦搅拌接合中,优选使表面侧旋转工具的旋转方向与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与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。

[0263] 另外,若使表面侧旋转工具的旋转方向与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,优选使表面侧旋转工具的旋转方向与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。

[0264] 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只要满足上述式(7)的关系,则没有特别地限定,只要按照常规方法即可。

[0265] 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。

[0266] 图2A及图2B分别表示有探针的旋转工具的例子。此外,如图2A及图2B所示,在有探针的旋转工具中,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)。

[0267] 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。

[0268] 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:20mm、销径:6.7mm、销长:0.9mm、凹面深度(未图示):0.3mm。

[0269] 在有探针的旋转工具中,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。

[0270] 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。

[0271] 如上述那样,肩径D(mm)满足上述式(7)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,当在第一电磁钢带与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与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与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。

[0272] 另外,如上述那样,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,由此使在板厚中心部附近的搅拌能力提高的功能。但是,对探针施加比肩部大的应力。这一点,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,作为接合方式应用所谓的预热式双面摩擦搅拌接合,同时满足上述式(7)及(8)的关系,由此搅拌能力进一步提高。因此,能够使用无探针的旋转工具。无探针的旋转工具与有探针的旋转工具相比,耐久性优异。因此,从旋转工具的耐久性、寿命延长以及(因旋转工具的磨损、破损而引起的)接合不良率的降低的点出发,优选使用无探针的旋转工具。

[0273] 图3~图5分别表示无探针的旋转工具的例子。图3是前端面为平面的无探针的旋转工具(以下,也称为前端平面旋转工具)的例子。图4是前端面为凸型的曲面的无探针的旋转工具(以下,也称为前端凸型旋转工具)的例子。图5是前端面为凹型的曲面的无探针的旋转工具(以下,也称为前端凹型旋转工具)的例子。

[0274] 如图3~图5所示,无探针的旋转工具的前端部仅由肩部构成。即,无探针的旋转工具的前端部成为与肩部不连续的形状,不具有朝向被接合材料大致垂直地突出的部位(探

针)。旋转工具的前端面例如优选设为图3那样的平面、图4那样的凸型的曲面、图5那样的凹型的曲面。另外,与工具旋转轴垂直的面中的前端部的形状(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)成为圆形。

[0275] 在图3那样的前端平面旋转工具中,例如,与被接合材料接触的前端面由与工具的旋转轴垂直的一个平面构成。

[0276] 在图4那样的前端凸型旋转工具中,例如,与被接合材料接触的前端面成为不具有探针的连续的形状,成为大致一样的倾斜面。更具体而言,前端面构成从外周朝向中心突出的一个曲面(抛物面、长球面或球面)。另外,如图4那样,前端面的截面(包含旋转轴,且与旋转轴平行的截面)形状成为大致一样的曲率半径的曲线。此外,优选曲面高度 d_v (mm)与肩径 D (mm)满足下式(16)的关系。

$$[0277] \quad d_v/D \leq 0.06 \cdots (16)$$

[0278] 即,通过将 d_v/D 设为0.06以下,在旋转工具的前端部与被接合材料接触时,能够对流动部更有效地施加压力,能够更有效地产生塑性流动。另一方面,若 d_v/D 超过0.06,则存在接合部的表面及背面成为过度的凹状,接合部的厚度相对于钢带的厚度变小的情况。在这样的情况下,接头强度的确保变得困难,因此并不优选。此外, d_v/D 的下限没有特别地限定,但从对流动部更有效地施加压力的观点出发, d_v/D 优选为0.01以上。

[0279] 在图5那样的前端凹型旋转工具中,与被接合材料接触的前端面成为不具有探针的连续的形状,成为大致一样的倾斜面。更具体而言,前端面构成从外周朝向中心凹陷的一个曲面(抛物面、长球面或球面)。另外,如图5那样,前端面的截面(包含旋转轴,且与旋转轴平行的截面)形状成为大致一样的曲率半径的曲线。此外,优选曲面深度 d_c (mm)与肩径 D (mm)满足下式(17)的关系。

$$[0280] \quad d_c/D \leq 0.03 \cdots (17)$$

[0281] 即,通过将 d_c/D 设为0.03以下,从而在接合中软化了的金属充满在前端部的凹型的曲面内。由此,在旋转工具的前端部与被接合材料接触时,能够对流动部更有效地施加压力,能够更有效地产生塑性流动。另一方面,若 d_c/D 超过0.03,则存在难以对流动部有效地施加压力并产生充分的塑性流动的情况,并不优选。此外, d_c/D 的下限没有特别地限定,但从对流动部更有效地施加压力的观点出发, d_v/D 优选为0.01以上。

[0282] 另外,从更加促进材料流动的观点出发,优选旋转工具的前端面具有旋转相反方向的旋涡状(螺旋状)的台阶部。旋涡状的台阶部例如由以旋转工具的前端面的中心、或者如图6~图8所示旋转工具的前端面的中心圆的周缘为起点,延伸至旋转工具的前端面的外周缘的放射状的曲线(旋涡)划分。此外,旋转工具的前端面的中心圆是以旋转工具的前端面的中心为中心的任意直径的圆。另外,在图6~图8中,旋涡的数量均为4条。

[0283] 划分台阶部的旋涡的数量只要为一个以上即可。不过,若划分台阶部的旋涡的数量超过6个,则缺乏促进材料流动的效果。另外,存在因形状的复杂而易破损的担忧。因此,划分台阶部的旋涡的数量优选为6个以下。此外,图9~图13分别表示划分台阶部的旋涡的数量为2个~6个的情况的例子。

[0284] 另外,从提高材料流动,并且防止旋转工具的前端部的破损的观点出发,划分台阶部的旋涡的数量优选根据肩径来进行调节。例如,优选肩径越大越增加划分台阶部的旋涡的数量,肩径越小越减少划分台阶部的旋涡的数量。具体而言,在肩径不足6mm的情况下,优

选将划分台阶部的旋涡的数量设为2条以下。另一方面,在肩径为6mm以上的情况下,优选将划分台阶部的旋涡的数量设为3~6条。

[0285] 在划分台阶部的旋涡为2个且等间隔地配置旋涡的情况下,如图9所示,分别以点A及点B为起点,分别绘制以线段A-B为半径的半圆。接着,分别绘制线段A-B的2倍的长度的半径的半圆。接下来,分别绘制线段A-B的3倍的长度的半径的半圆。通过反复进行上述内容,能够绘制2个等间隔的旋涡。

[0286] 在划分台阶部的旋涡的数量n为3个~6个且等间隔地配置旋涡的情况下,如图10~图13所示,绘制正n边形,以n边形的各顶点为中心,将与正n边形的边的长度相等的半径的弧绘制到与边的延长线相交的点。接着,以先前的顶点的相邻的顶点为中心,将正n边形的边的长度的2倍的半径的弧绘制到与下一边的延长线相交的点。接着,以先前的顶点的相邻的顶点为中心,将正n边形的边的长度的3倍的半径的弧绘制到与下一边的延长线相交的点。通过反复进行上述内容,能够绘制n条等间隔的旋涡。

[0287] 此外,在图9~图13的情况下,也可以将旋涡的数量设为1条。另外,在图9、图11及图13的情况下,也可以将旋涡的数量设为2条,并将旋涡等间隔地形成。在图10及图13的情况下,也可以将旋涡的数量设为3条,并将旋涡等间隔地形成。

[0288] 此外,每一条旋涡的长度优选为前端面的周长的0.5周以上2周以下。旋涡的长度也优选根据肩径来进行调节。例如,优选肩径越大越增加旋涡的长度,肩径越小越缩短旋涡的长度。

[0289] 在前端凸型旋转工具的一个例子中,如图14所示,台阶部通过使高度位置按照旋涡间的每个区域呈阶梯状变化,例如通过从前端面的中心朝向外周逐渐变低而构成。此外,在前端凹型旋转工具的情况下,台阶部通过从前端面的中心朝向外周逐渐变高而构成。以下,将这样的台阶部的形态也称为阶梯状。台阶部的级数只要为1级以上即可。另外,在包含旋转轴且与旋转轴平行的截面(图14的截面)中,各台阶部例如只要成为大致水平即可。

[0290] 在前端凸型旋转工具的另一个例子中,如图15所示,台阶部通过在旋涡的位置设置比前端面凹陷的区域(以下,也称为槽部)而形成。由此,形成从前端面的中心朝向外周逐渐变低的台阶部。此外,在前端凹型旋转工具的情况下,形成从前端面的中心朝向外周逐渐变高的台阶部。以下,将这样的台阶部的形态也称为槽状。另外,作为槽部的截面形状,能够例示U形状、V形状、L形状等。台阶部的级数只要为1级以上即可。

[0291] 在前端平面旋转工具的一个例子中,如图16所示,台阶部通过在旋涡的位置设置槽部而构成。作为槽部的形状,能够例示U形状、V形状、L形状等。台阶部的级数只要为1级以上即可。

[0292] 通过设置上述那样的台阶部,在利用旋转工具进行被接合材料的按压及搅拌时,使因摩擦热而软化了的金属材料从旋转工具的外侧朝向内侧流动。由此,能够抑制金属材料向旋转工具所按压的按压部的外侧流出。其结果是,促进按压部的塑性流动。另外,能够防止接合部的厚度相对于母材减少,且形成没有毛刺的美观的接合部表面。

[0293] 此外,旋转工具的与前端部相反一侧的根部只要能够安装于以往通常使用的双面摩擦搅拌接合装置即可,该根部的形状没有特别地限制。

[0294] [2]电磁钢带的接合接头

[0295] 接下来,使用图17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17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17所示的面(这里所说的板厚方向的截面)内包含有接合垂直方向和板厚方向。

[0296] 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,
 [0297] 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,
 [0298] 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,且
 [0299] 满足下式(1)~(4)的关系。

$$[0300] \quad D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \cdots (1)$$

$$[0301] \quad D_{haz1} \leq D_{bm1} \cdots (2)$$

$$[0302] \quad D_{haz2} \leq D_{bm2} \cdots (3)$$

$$[0303] \quad 0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \cdots (4)$$

[0304] 这里,

[0305] D_{sz} 是接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0306] D_{haz1} 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),

[0307] D_{haz2} 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),

[0308] D_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0309] D_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0310] H_{sz} 是接合部的硬度的平均值,

[0311] H_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0312] H_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0313] 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)。

[0314] [被接合材料(第一电磁钢带及第二电磁钢带)]

[0315] 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,没有被特别地限定。

[0316] 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%。

[0317] 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。

[0318] 第一电磁钢带的板厚 t_1 及第二电磁钢带的板厚 t_2 没有特别地限定,但 t_1 及 t_2 分别优选为1.2~3.2mm。此外, t_1 及 t_2 可以相同,也可以不同。

[0319] 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。

[0320] 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。

[0321] 即,将电磁钢带的接合接头以图17所示的面(即,包含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(将浓盐酸和浓硝酸按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。

[0322] [接合部]

[0323] 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。

[0324] 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%。

[0325] 此外,铁素体相的面积率如以下那样进行测定。

[0326] 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17所示的面(即,包含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,利用光学显微镜以倍率:500倍拍摄共计10个视场。接着,根据所得到的组织图像,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。

[0327] 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。

[0328] $D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \cdots (1)$

[0329] 这里,

[0330] D_{sz} 是接合部的铁素体粒径的平均值(μm)。

[0331] 这里, D_{sz} 依据JIS G 0551进行测定。具体而言,如以下那样进行测定。

[0332] 即,将电磁钢带的接合接头以图17所示的面(即,包含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含热加工影响部、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。

[0333] 然后,在上述的测定区域内的任意的的位置,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 D_{sz} 。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。

[0334] 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。

$$[0335] \quad 0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \cdots (4)$$

[0336] 这里,

[0337] H_{sz} 是接合部的硬度的平均值,

[0338] H_{bm1} 是第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0339] H_{bm2} 是第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0340] 这里, H_{sz} 、 H_{bm1} 及 H_{bm2} 依据JIS Z 2244进行测定。具体而言,分别如以下那样进行测定。

[0341] 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 H_{sz} 。

[0342] 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 $\pm 0.2 \times t_1$ 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 $\pm 0.2 \times t_2$ 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 H_{bm1} 及 H_{bm2} 。这里, t_1 及 t_2 分别是第一电磁钢带及第二电磁钢带的板厚。

[0343] 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与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。

$$[0344] \quad 0.8 \times T_{bmL} \leq T_{szL} \cdots (5)$$

$$[0345] \quad T_{szH} \leq 1.3 \times T_{bmH} \cdots (6)$$

[0346] 这里,

[0347] T_{szL} 是接合部的厚度的最小值(mm),

[0348] T_{szH} 是接合部的厚度的最大值(mm),

[0349] T_{bmL} 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),

[0350] T_{bmH} 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)。

[0351] 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 $T_{bmL} = T_{bmH}$ 。

[0352] 此外, T_{szL} 及 T_{szH} 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17所示的面(即,包含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 $TszH$ 。

[0353] [热加工影响部]

[0354] 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。

[0355] 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。

[0356] 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。

$$[0357] \quad Dhaz1 \leq Dbm1 \cdots (2)$$

$$[0358] \quad Dhaz2 \leq Dbm2 \cdots (3)$$

[0359] 这里,

[0360] $Dhaz1$ 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),

[0361] $Dhaz2$ 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),

[0362] $Dbm1$ 是第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0363] $Dbm2$ 是第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm)。

[0364] 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。

[0365] 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17所示的面(即,包含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 $X=0 \sim +0.4 \times t1$ 、 $Y=-0.2 \times t1 \sim +0.2 \times t1$ 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,在包含接合部、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。

[0366] 如上述那样,接合部是指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。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。

[0367] 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17所示的面(即,包含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 $X=0\sim+0.4\times t_2$ 、 $Y=-0.2\times t_2\sim+0.2\times t_2$ 的区域设为测定区域。这里, t_2 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,在包含接合部、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。

[0368] 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)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 $\pm 0.2\times t_1$ 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 $\pm 0.2\times t_2$ 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, t_1 及 t_2 分别是第一电磁钢带及第二电磁钢带的板厚。

[0369] 此外,作为接头形式,能够例示对接接头、搭接接头。

[0370] [3]电磁钢带的制造方法

[0371] 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。

[0372] 根据本发明的一个实施方式的电磁钢带的制造方法具备:

[0373] 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

[0374] 对该接合钢带实施冷轧而得到冷轧钢带的工序。

[0375] 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。

[0376] 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接合后,进行冷轧前,也可以任意地进行酸洗。

[0377] 实施例

[0378] 以下,使用实施例对本发明的作用及效果进行说明。此外,本发明并不限于以下的实施例。

[0379] 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中记载的预热条件、和表3及表4中记载的接合条件的预热式摩擦搅拌接合,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)预热之后接合,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。后述的表3及表4的情况也是同样的。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 Z2247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。

[0380] 此外,在预热工序中,使加热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,加热装置使用了高频感应加热装置。更具体而言,将最大输出100kW、频带70~90kHz的高频电源连接到长度100mm、宽度30mm的四边形的感应加热线圈。

然后,将该感应加热线圈设置为长度100mm的边与接合行进方向平行,并且在被接合材料的单面或双面从表面向板厚方向分离10mm的位置。此外,在表2中的加热装置的配置中,记载为“单面”意味着仅在被接合材料的单面(表(正)面)配置有加热装置,记载为“双面”意味着在被接合材料的双面(表(正)面及背面这两者)配置有加热装置。另外,通过设置于摩擦搅拌接合装置的热成像,在被接合材料的两面测定了预热温度。将测定出的被接合材料的预热温度一并标注在表2中。此外,TP_{w=0.2D}及TP_{w=0.5D}夹着接合中央线而在前进侧(第一电磁钢带侧)和后退侧(第二电磁钢带侧)这两者进行了测定,但几乎是相同的温度。因此,这里,作为代表仅记载在前进侧的测定温度。另外,为了比较,在一部分的条件下不进行预热。

[0381] 另外,在接合工序中,使配置于铅垂方向上侧的表面侧旋转工具的旋转方向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2~图8所示的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。

[0382] 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。

[0383] 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。

[0384] 另外,根据上述的要领,测定了

[0385] Dsz:接合部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0386] 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),

[0387] 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),

[0388] Dbm1:第一电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0389] Dbm2:第二电磁钢带的母材部的铁素体粒径的平均值(μm),

[0390] Hsz:接合部的硬度的平均值,

[0391] Hbm1:第一电磁钢带的母材部的硬度的平均值,

[0392] Hbm2:第二电磁钢带的母材部的硬度的平均值。

[0393] 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17所示的面(即,包含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)。

[0394] 将结果示出在表5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。

[0395] 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

的有无及(II)内部缺陷的有无。将结果示出在表6中。

[0396] (I)表面缺陷的有无

[0397] 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(在激光焊接的情况下,为焊接部及热影响部)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。

[0398] 无表面缺陷:均未确认到未接合状态及裂纹。

[0399] 有表面缺陷:确认到未接合状态及裂纹的至少一方。

[0400] (II)内部缺陷的有无

[0401] 将所得到的电磁钢带的接合接头以图17所示的面(即,包含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20mm的位置、距接合(焊接)结束侧的被接合材料的端部20mm的位置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。而且,根据以下的基准,判定了内部缺陷的有无。

[0402] 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。

[0403] 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。

[0404] 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)。

[0405] 即,从所得到的电磁钢带的接合接头,以包含接合部、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6中。

[0406] [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

[0407] ○(合格):埃里克森杯突值的比率为80%以上

[0408] ×(不合格):埃里克森杯突值的比率不足80%

[0409] 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。

[0410] 另外,按照以下的要领,进行了旋转工具的耐久性的评价。

[0411] 即,若产生旋转工具的破损、磨损,则因内部缺陷而引起的接合不良以高概率产生。因此,在与上述相同的条件下分别反复进行接合长0.5m的接合,针对所得到的接合接头,通过上述的“(II)内部缺陷的有无”所示的判定方法,判定了内部缺陷的有无。

[0412] 而且,根据被判定为无内部缺陷的接头的数量维持整体的90%以上的最大接合次数(以下,也称为90%维持最大接合次数),进行了旋转工具的耐久性的评价。将90%维持最

大接合次数一并标注在表6中。此外,判定为90%维持最大接合次数为35次以上的情况:旋转工具的耐久性(寿命)特别优异(◎),90%维持最大接合次数不足35次且25次以上的情况:旋转工具的耐久性(寿命)优异(O),90%维持最大接合次数不足25次的情况:可以说旋转工具的耐久性(寿命)并不充分(×)。

[0413] 这里,90%维持最大接合次数是指按接合顺序确认所得到的接合接头的内部缺陷的有无,将确认了内部缺陷的有无的接合接头的数量设为N时,满足下式(a)的最大的N的值。

[0414] [确认了内部缺陷的有无的接合接头中的判定为无内部缺陷的接合接头的数量] ÷ [确认了内部缺陷的有无的接合接头的数量] × 100 ≥ 90...式(a)

[0415] 例如,当在通过第一~第四次的接合得到的接合接头中判定为无内部缺陷,在通过第五次的接合得到的接合接头中判定为有内部缺陷的情况下,

[0416] 在N=4时,

[0417] 成为[确认了内部缺陷的有无的接合接头中的无内部缺陷的接合接头的合计数] ÷ [确认了内部缺陷的接合接头的数量N] × 100

[0418] = 4 ÷ 4 × 100 = 100 ≥ 90,

[0419] 在N=5时,

[0420] 成为[确认了内部缺陷的有无的接合接头中的无内部缺陷的接合接头的合计数] ÷ [确认了内部缺陷的接合接头的数量N] × 100

[0421] = 4 ÷ 5 × 100 = 80 < 90。

[0422] 即,在该情况下,到N=4为止满足式(a),在N=5时开始不满足式(a),因此90%维持最大接合次数为4。

[0423] 另外,当在通过第一~第十次及第十二~第十九次的接合得到的接合接头中判定为无内部缺陷,在通过第十一次、第二十次及第二十一次的接合得到的接合接头中判定为有内部缺陷的情况下,

[0424] 在N=11时,

[0425] 成为“[确认了内部缺陷的有无的接合接头中的无内部缺陷的接合接头的合计数] ÷ [确认了内部缺陷的接合接头的数量N] × 100

[0426] = 10 ÷ 11 × 100 ≈ 90.9 ≥ 90,

[0427] 在N=20时,

[0428] 成为[确认了内部缺陷的有无的接合接头中的无内部缺陷的接合接头的合计数] ÷ [确认了内部缺陷的接合接头的数量N] × 100

[0429] = 18 ÷ 20 × 100 = 90 ≥ 90,

[0430] 在N=21时,

[0431] 成为[确认了内部缺陷的有无的接合接头中的无内部缺陷的接合接头的合计数] ÷ [确认了内部缺陷的接合接头的数量N] × 100

[0432] = 18 ÷ 21 × 100 = 85.7 < 90。

[0433] 即,在该情况下,到N=20为止满足式(a),在N=21时开始不满足式(a),因此90%维持最大接合次数为20。

[0434] 此外,在上述的(I)表面缺陷的有无或(II)内部缺陷的有无中判定为有缺陷的接

合接头的90%维持最大接合次数为0。

[0435] [表1]

[0436]

表1

| 钢种 | 板厚 (mm) | 成分组成 (质量%) | | | | | | 母材部的 铁氧化物 平均粒径 (μm) | 母材部的 硬度的平均值 (HV) | 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 | |

[0437] [表2]

[0438]

表2

| 预热条件 | 接头形式 | 被接合材料 | | | | | | 加热装置的配置 | 预热条件 | | | |
|------|------|--------|------------|--------|------------|--------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | 第一电磁钢带 | | 第二电磁钢带 | | t (mm) | TJ (mm) | | 表面侧 | | 背面侧 | |
| | | 钢种 | 板厚 t1 (mm) | 钢种 | 板厚 t2 (mm) | | | | 频率 (kHz) | 输出 (kW) | 频率 (kHz) | 输出 (kW) |
| 1 | 对接 | B2-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 单面 | 104 | 12 | - | - | |
| 2 | 对接 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 双面 | 104 | 12 | 104 | 12 | |
| 3 | 对接 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 单面 | 98 | 22 | - | - | |
| 4 | 对接 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 双面 | 98 | 22 | 98 | 22 | |
| 5 | 对接 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 单面 | 83 | 46 | - | - | |
| 6 | 对接 | B1-2 | 2.6 | B1-2 | 2.6 | 2.6 | 双面 | 83 | 46 | 83 | 46 | |
| 7 | 对接 | B1-2 | 2.6 | B1-2 | 2.6 | 2.6 | 单面 | 83 | 46 | - | - | |
| 8 | 对接 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 双面 | 83 | 46 | 83 | 46 | |
| 9 | 对接 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 单面 | 53 | 97 | - | - | |
| 10 | 对接 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 双面 | 53 | 97 | 53 | 97 | |
| 11 | 搭接 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 双面 | 98 | 22 | 98 | 22 | |

[0439]

表2 (接续)

| 预热条件 | 接头形式 | 预热温度 (°C) | | | | | | | | | | | | (11) 式 | (12) 式 | (13) 式 | (14) 式 | (15) 式 |
|------|------|-------------------|----------------------|----------------------|--|--|-------------------|----------------------|----------------------|--|--|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 表面侧 | | | | | | 背面侧 | | | | | | | | | | |
| | | TP _{W=0} | TP _{W=0.2D} | TP _{W=0.5D} | TP _{W=0.2D} / TP _{W=0} | TP _{W=0.5D} / TP _{W=0} | TP _{W=0} | TP _{W=0.2D} | TP _{W=0.5D} | TP _{W=0.2D} / TP _{W=0} | TP _{W=0.5D} / TP _{W=0} | TP _{W=0.2D} / TP _{W=0} | TP _{W=0.5D} / TP _{W=0} | | | | | |
| 1 | 对接 | 80 | 60 | 30 | 0.75 | 0.38 | 60 | 40 | 30 | 0.67 | 0.50 | × | × | × | × | × | × | |
| 2 | 对接 | 140 | 110 | 60 | 0.79 | 0.43 | 140 | 110 | 60 | 0.79 | 0.43 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 3 | 对接 | 170 | 120 | 60 | 0.71 | 0.35 | 130 | 100 | 50 | 0.77 | 0.38 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 4 | 对接 | 300 | 220 | 100 | 0.73 | 0.33 | 300 | 220 | 100 | 0.73 | 0.33 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 5 | 对接 | 500 | 400 | 210 | 0.80 | 0.42 | 420 | 320 | 150 | 0.76 | 0.36 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 6 | 对接 | 590 | 470 | 250 | 0.80 | 0.42 | 590 | 470 | 250 | 0.80 | 0.42 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 7 | 对接 | 440 | 350 | 170 | 0.80 | 0.39 | 350 | 280 | 120 | 0.80 | 0.34 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 8 | 对接 | 500 | 400 | 210 | 0.80 | 0.42 | 500 | 400 | 210 | 0.80 | 0.42 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 9 | 对接 | 990 | 910 | 400 | 0.92 | 0.40 | 910 | 820 | 350 | 0.90 | 0.38 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 10 | 对接 | 1180 | 800 | 550 | 0.68 | 0.47 | 1180 | 800 | 550 | 0.68 | 0.47 | × | ○ | ○ | × | × | × | |
| 11 | 搭接 | 450 | 352 | 170 | 0.78 | 0.38 | 450 | 352 | 170 | 0.78 | 0.38 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

[0440]

[表3]

[0441]

表3

| 接头形式 | 被接合材料 | | | | | | 旋转工具 | | | | 接合条件 | | | | (7) 式 | (8) 式 | (9) 式 | (10) 式 | | | |
|-------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|------|------------|-----------|---------|---------|-------------------|-------------|-------------|-------|-------|-----------------|--------|-----------------|-------------------------|-----|
| | 第一电磁钢带 | | 第二电磁钢带 | | t (mm) | TJ (mm) | 预热条件 | 形状 | 肩径 D (mm) | 销径 (mm) | 销长 (mm) | 倾斜角度 α (°) | 肩部间隙 G (mm) | 转速RS (次/分钟) | | | | | 接合速度 JS (mm/分钟) | RS x D ³ /JS | |
| | 钢种 | 板厚 t1 (mm) | 钢种 | 板厚 t2 (mm) | | | | | | | | | | 表面侧 | | | | | | | 背面侧 |
| | | | | | 钢种 | 板厚 t1 (mm) | 钢种 | 板厚 t2 (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| 发明例1 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 1.20 | 3000 | 3000 | 6000 | 1099 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例2 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1 | 1.50 | 1700 | 1700 | 5000 | 2720 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例3 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 0.90 | 2500 | 2500 | 6000 | 915 | ○ | ○ | × | ○ |
| 发明例4 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 5 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 1.90 | 1000 | 1000 | 4000 | 2000 | ○ | ○ | × | ○ |
| 发明例5 | B1-2 | 2.6 | B1-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 6 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 2 | 1.80 | 1800 | 1800 | 5000 | 791 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例6 | B1-2 | 2.6 | B1-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 7 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 2.00 | 800 | 800 | 5000 | 1280 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例7 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 8 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 2.20 | 2200 | 2200 | 6000 | 806 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例8 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 9 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 2.40 | 2000 | 2000 | 6000 | 732 | ○ | ○ | × | ○ |
| 发明例9 | B2-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 1.50 | 1300 | 1300 | 3500 | 2971 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例10 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 10 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 1.70 | 2200 | 2200 | 6000 | 806 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例11 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 11 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 3.00 | 2000 | 2000 | 3500 | 4571 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例1 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 0.90 | 800 | 800 | 6000 | 293 | ○ | × | ○ | ○ |
| 比较例2 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 5 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 1.70 | 2000 | 2000 | 4000 | 4000 | ○ | × | ○ | ○ |
| 比较例3 | B1-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 无预热 | 图2A | 13 | 4 | 0.6 | 1.5 | 1.20 | 1500 | 1500 | 3000 | 1099 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例4 | B1-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 无预热 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 1.50 | 1200 | 1200 | 3000 | 3200 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例5 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 无预热 | 图2B | 20 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 3.00 | 2000 | 2000 | 3500 | 4571 | ○ | ○ | ○ | ○ |

○满足该式的关系
×不满足该式的关系

[0442]

[表4]

[0443]

表4

| 接头形式 | 被接合材料 | | | | | | 预热条件 | | 表、背面侧旋转工具 | | | | | 接合条件 | | | | (10)式 | (9)式 | (8)式 | (7)式 |
|-------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|------|------------|------------|----------------|-------|------------|-------------|-------------|------|-----------------|-----------------------|-------|------|------|------|
| | 第一电磁钢带 | | 第二电磁钢带 | | t (mm) | TJ (mm) | 形状 | 直径 D (mm) | dw或dc (mm) | dv/D或dc/D (mm) | 台阶部形态 | 倾斜角度 α (°) | 肩部间隔 G (mm) | 转速RS (次/分钟) | | 接合速度 JS (mm/分钟) | RS×D ³ /JS | | | | |
| | 钢种 | 板厚 t1 (mm) | 钢种 | 板厚 t2 (mm) | | | | | | | | | | 表面侧 | 背面侧 | | | | | | |
| | | | | | 钢种 | 板厚 t1 (mm) | 钢种 | 板厚 t2 (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| 发明例12 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 0.2 | 0.022 | 阶梯状 | 0 | 1.10 | 3000 | 3000 | 6000 | 365 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例13 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 0.5 | 0.038 | 阶梯状 | 0 | 1.50 | 2000 | 2000 | 5000 | 879 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例14 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 0.3 | 0.023 | 槽状 | 0 | 0.85 | 2500 | 2500 | 6000 | 915 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例15 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | 槽状 | 0 | 1.90 | 1000 | 1000 | 4000 | 2000 | ○ | ○ | ○ | × |
| 发明例16 | B1-2 | 2.6 | B1-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | - | - | - | 0 | 1.80 | 1800 | 1800 | 5000 | 791 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例17 | B1-2 | 2.6 | B1-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 0.5 | 0.025 | 阶梯状 | 0 | 1.70 | 800 | 800 | 5000 | 1280 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例18 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 0.5 | 0.025 | 槽状 | 0 | 1.90 | 2200 | 2200 | 6000 | 2933 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例19 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 0.5 | 0.038 | - | 0 | 2.10 | 2000 | 2000 | 6000 | 732 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例20 | B2-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | 0 | 1.50 | 1300 | 1300 | 3500 | 2971 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例21 | B2-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 0.5 | 0.038 | 槽状 | 0 | 1.70 | 2200 | 2200 | 6000 | 806 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例22 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 4.0 | 0.5 | 0.025 | 阶梯状 | 0 | 3.00 | 2000 | 2000 | 3500 | 4571 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例6 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 0.3 | 0.023 | 槽状 | 0 | 0.85 | 900 | 900 | 6000 | 330 | ○ | × | ○ | ○ |
| 比较例7 | B2-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | 槽状 | 0 | 1.90 | 1500 | 1500 | 4000 | 5184 | × | × | ○ | ○ |
| 比较例8 | B1-1 | 2.0 | B2-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | 阶梯状 | 0 | 1.20 | 3000 | 3000 | 3000 | 729 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例9 | B1-2 | 2.6 | B2-2 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | - | - | 槽状 | 0 | 1.80 | 1200 | 1200 | 3000 | 3200 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例10 | B1-1 | 2.0 | B1-1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 4.0 | 0.5 | 0.025 | 阶梯状 | 0 | 3.00 | 2000 | 2000 | 3500 | 4571 | ○ | ○ | ○ | ○ |

○满足该式的关系
×不满足该式的关系

[0444]

[表5]

[0445]

表5

| 接头形式 | 被接合材料 | | | | | | | | | | 接合部 | | | | | 热加工影响部 | | | | 式的适用性 | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----------|-----------|---------|-----|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|-------------|------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|
| | 第一电磁钢带 | | | | | 第二电磁钢带 | | | | | 铁氧体相面积率 (%) | Dsz (μm) | TszL (mm) | TszH (mm) | 第一电磁钢带侧 | | 第二电磁钢带侧 | | (1) 式 | (2) 式 | (3) 式 | (4) 式 | (5) 式 | (6) 式 | | | | | | |
| | 钢种 | Dbm1 (μm) | Hbm1 (mm) | 板厚 (mm) | 钢种 | Dbm2 (μm) | Hbm2 (mm) | 板厚 (mm) | TbmL (mm) | TbmH (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 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 75 | 237 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 99 | 201 | 99 | 203 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例2 | 对接 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 95 | 240 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 99 | 208 | 99 | 210 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例3 | 对接 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 83 | 246 | 1.5 | 1.9 | 2.0 | 99 | 240 | 99 | 235 | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ |
| 发明例4 | 对接 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 165 | 238 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 99 | 287 | 99 | 290 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例5 | 对接 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 91 | 235 | 2.2 | 2.7 | 2.0 | 99 | 204 | 99 | 206 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例6 | 对接 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 108 | 234 | 2.5 | 2.6 | 2.0 | 99 | 210 | 99 | 208 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例7 | 对接 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 151 | 240 | 2.5 | 2.6 | 2.0 | 99 | 273 | 99 | 278 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例8 | 对接 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 178 | 237 | 2.6 | 2.6 | 2.0 | 99 | 281 | 99 | 295 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例9 | 对接 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 70 | 248 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 99 | 200 | 99 | 198 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例10 | 对接 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 198 | 242 | 2.3 | 2.6 | 2.0 | 99 | 308 | 99 | 307 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例11 | 搭接 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 167 | 224 | 3.5 | 3.8 | 2.0 | 99 | 253 | 99 | 251 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| 发明例12 | 对接 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 71 | 239 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 99 | 210 | 99 | 208 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例13 | 对接 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 98 | 238 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 99 | 209 | 99 | 210 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例14 | 对接 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 84 | 246 | 1.5 | 1.9 | 2.0 | 99 | 235 | 99 | 233 | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ |
| 发明例15 | 对接 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 161 | 241 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 99 | 282 | 99 | 286 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例16 | 对接 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 93 | 238 | 2.3 | 2.7 | 2.0 | 99 | 210 | 99 | 212 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例17 | 对接 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 110 | 233 | 2.5 | 2.6 | 2.0 | 99 | 215 | 99 | 218 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例18 | 对接 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 145 | 242 | 2.4 | 2.6 | 2.0 | 99 | 268 | 99 | 273 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例19 | 对接 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 181 | 232 | 2.5 | 2.6 | 2.0 | 99 | 281 | 99 | 288 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例20 | 对接 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 65 | 253 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 99 | 188 | 99 | 197 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

[0446]

表5 (续)

| 接头形式 | 被接合材料 | | | | | | | | | | 接合部 | | | | | 热加工影响部 | | | | | 式的适用性 | | | | | |
|-------|--------|-----------|-----------|---------|------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-------------|----------|-----|-----------|-----------|-------------|------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| | 第一电磁钢带 | | | | | 第二电磁钢带 | | | | | 铁氧体相面积率 (%) | Dsz (μm) | Hsz | TszL (mm) | TszH (mm) | 第一电磁钢带侧 | | 第二电磁钢带侧 | | (1) 式 | (2) 式 | (3) 式 | (4) 式 | (5) 式 | (6) 式 | |
| | 钢种 | Dbm1 (μm) | Hbm1 (mm) | 板厚 (mm) | 钢种 | Dbm2 (μm) | Hbm2 (mm) | 板厚 (mm) | TbmL (mm) | TbmH (mm) | | | | | | 铁氧体相面积率 (%) | Dhaz1 (μm) | 铁氧体相面积率 (%) | Dhaz2 (μm) | | | | | | | |
| 发明例21 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 197 | 243 | 2.3 | 2.6 | 99 | 307 | 99 | 305 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 发明例22 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 165 | 225 | 3.6 | 3.9 | 99 | 251 | 99 | 251 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| 比较例1 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 比较例2 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 比较例3 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 79 | 248 | 1.8 | 2.2 | 99 | 203 | 99 | 223 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例4 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 99 | 98 | 244 | 2.5 | 2.8 | 99 | 218 | 99 | 235 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例5 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 比较例6 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 比较例7 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 比较例8 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B2-1 | 310 | 242 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 99 | 75 | 248 | 1.8 | 2.0 | 99 | 185 | 99 | 199 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 比较例9 | B1-2 | 280 | 219 | 2.6 | B2-2 | 310 | 242 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 比较例10 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | B1-1 | 280 | 219 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

[0447]

[表6]

[0448]

表6

[0449]

| | (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 (%) | 90%维持最大接合次数 | 旋转工具的耐久性的评价 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|----------------|-------------|-------------|
| 发明例1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 12.1 | 98 | 26 | ○ |
| 发明例2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 11.6 | 94 | 28 | ○ |
| 发明例3 | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | 无 | 无 | 3.2 | 91 | 28 | ○ |
| 发明例4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 2.9 | 83 | 30 | ○ |
| 发明例5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 13.1 | 97 | 33 | ○ |
| 发明例6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 13.4 | 99 | 33 | ○ |
| 发明例7 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.2 | 84 | 32 | ○ |
| 发明例8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.2 | 84 | 34 | ○ |
| 发明例9 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.3 | 94 | 29 | ○ |
| 发明例10 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.1 | 82 | 26 | ○ |
| 发明例11 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | 无 | 无 | 10.1 | 81 | 25 | ○ |
| 发明例12 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 11.0 | 89 | 35 | ◎ |
| 发明例13 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 11.8 | 95 | 36 | ◎ |
| 发明例14 | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | 无 | 无 | 3.0 | 86 | 37 | ◎ |
| 发明例15 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.3 | 94 | 36 | ◎ |
| 发明例16 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 12.5 | 93 | 38 | ◎ |
| 发明例17 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 12.9 | 96 | 36 | ◎ |
| 发明例18 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.4 | 89 | 36 | ◎ |
| 发明例19 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.5 | 92 | 40 | ◎ |
| 发明例20 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.4 | 97 | 38 | ◎ |
| 发明例21 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.1 | 82 | 36 | ◎ |
| 发明例22 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | 无 | 无 | 10.1 | 81 | 35 | ◎ |
| 比较例1 | - | - | - | - | - | - | 有 | - | - | - | 0 | × |
| 比较例2 | - | - | - | - | - | - | 有 | - | - | - | 0 | × |
| 比较例3 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.1 | 89 | 13 | × |
| 比较例4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.2 | 84 | 10 | × |
| 比较例5 | - | - | - | - | - | - | 无 | 有 | - | - | 0 | × |
| 比较例6 | - | - | - | - | - | - | 有 | - | - | - | 0 | × |
| 比较例7 | - | - | - | - | - | - | 有 | - | - | - | 0 | × |
| 比较例8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 无 | 无 | 3.0 | 86 | 15 | × |
| 比较例9 | - | - | - | - | - | - | 无 | 有 | - | - | 0 | × |
| 比较例10 | - | - | - | - | - | - | 无 | 有 | - | - | 0 | × |

[0450] ○满足该式的关系

[0451] ×不满足该式的关系

[0452] 根据表6,在发明例中,均进行接合速度为3500mm/分钟以上的高速度下的接合,并且得到了没有缺陷而具有优异的断裂抑制效果的电磁钢带的接合接头。另外,在旋转工具的耐久性(寿命)的点上也优异。

[0453] 另一方面,在比较例中,在进行了接合速度为3500mm/分钟以上的接合的情况下,生产缺陷,或者没有得到充分的断裂抑制效果,或者旋转工具的耐久性并不充分。

[0454] 附图标记说明

[0455] 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…加热装置(表面侧加热装置);10-2…加热装置(背面侧加热装置);11…旋转工具的驱动装置;12…动作控制装置。

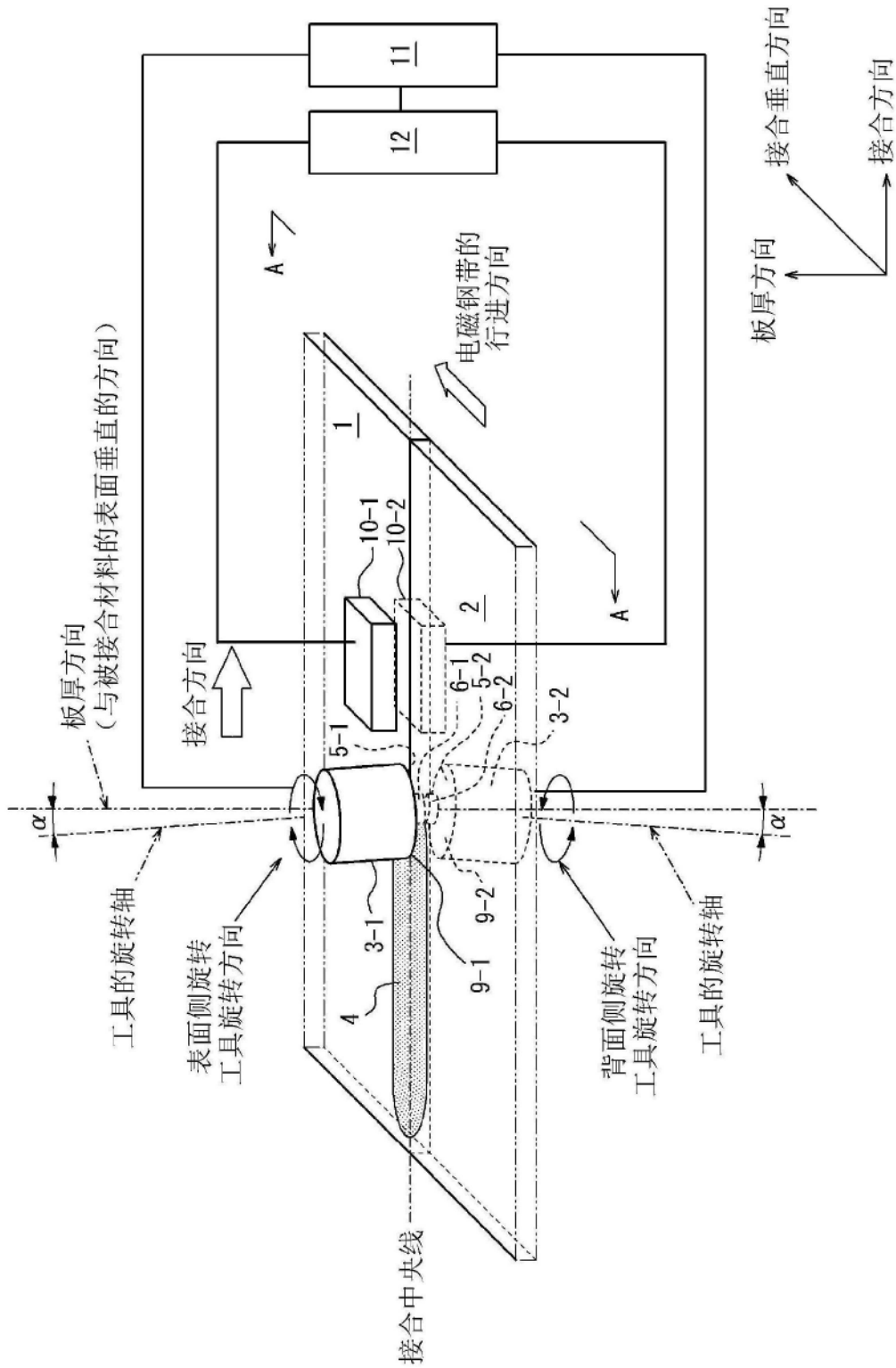
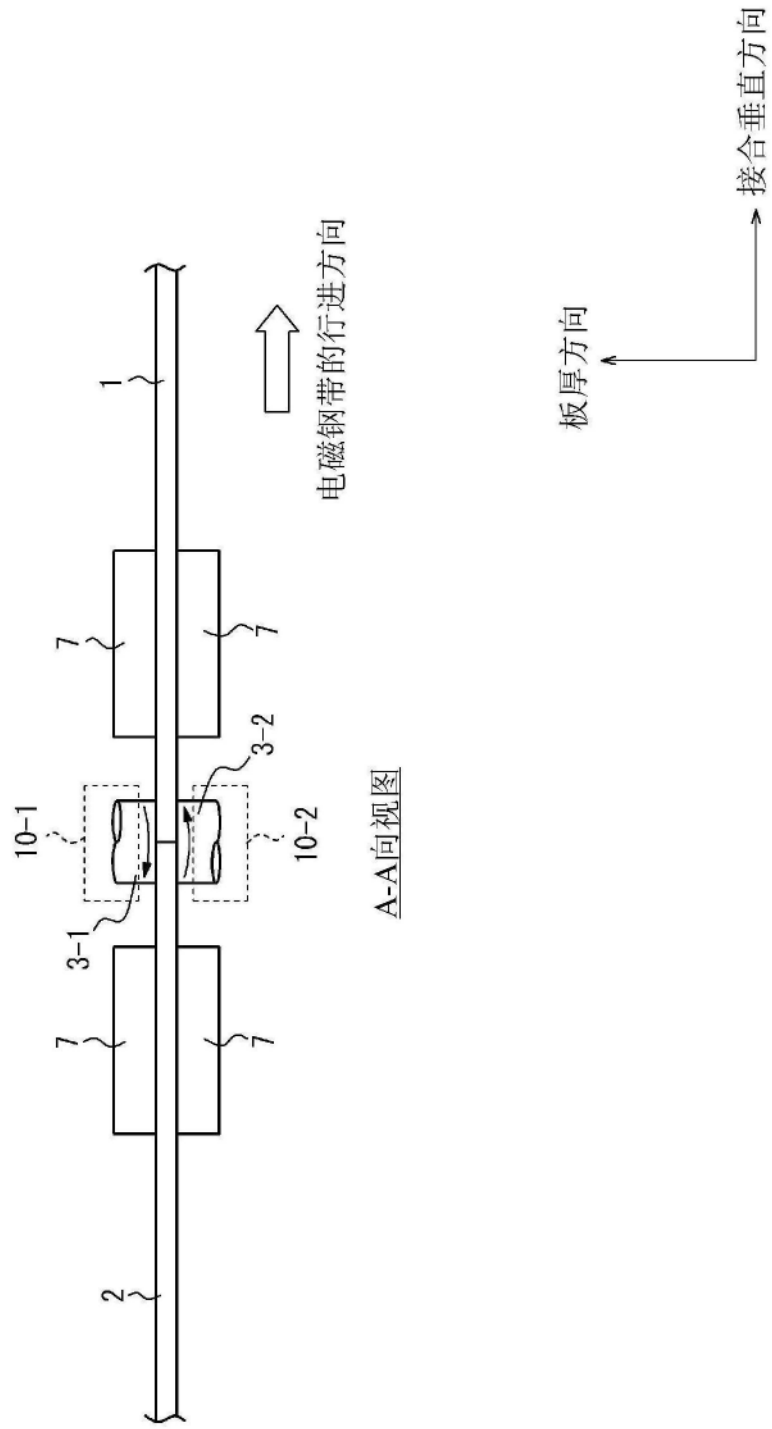


图1A



A-A向视图

图1B

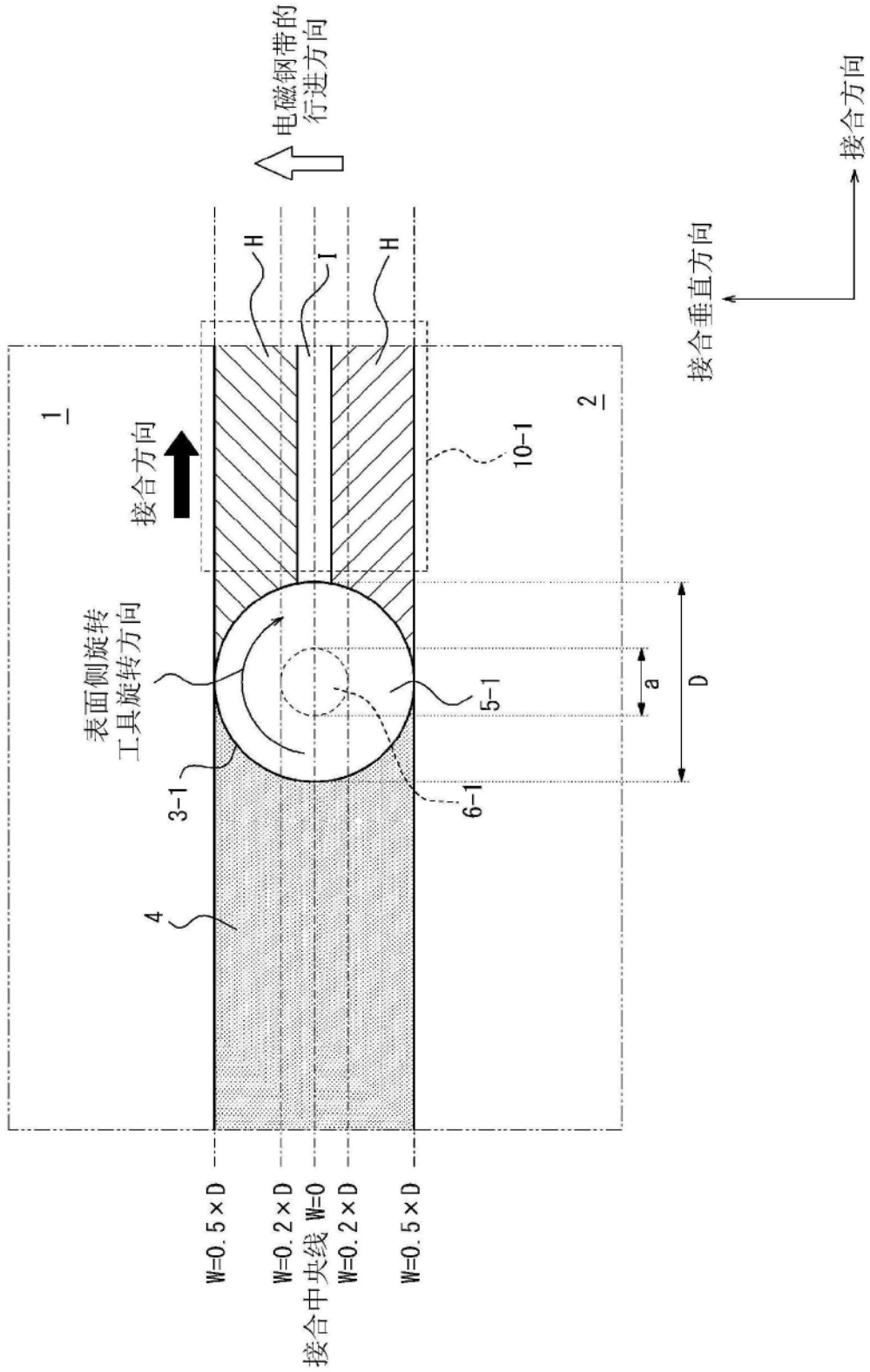


图1C

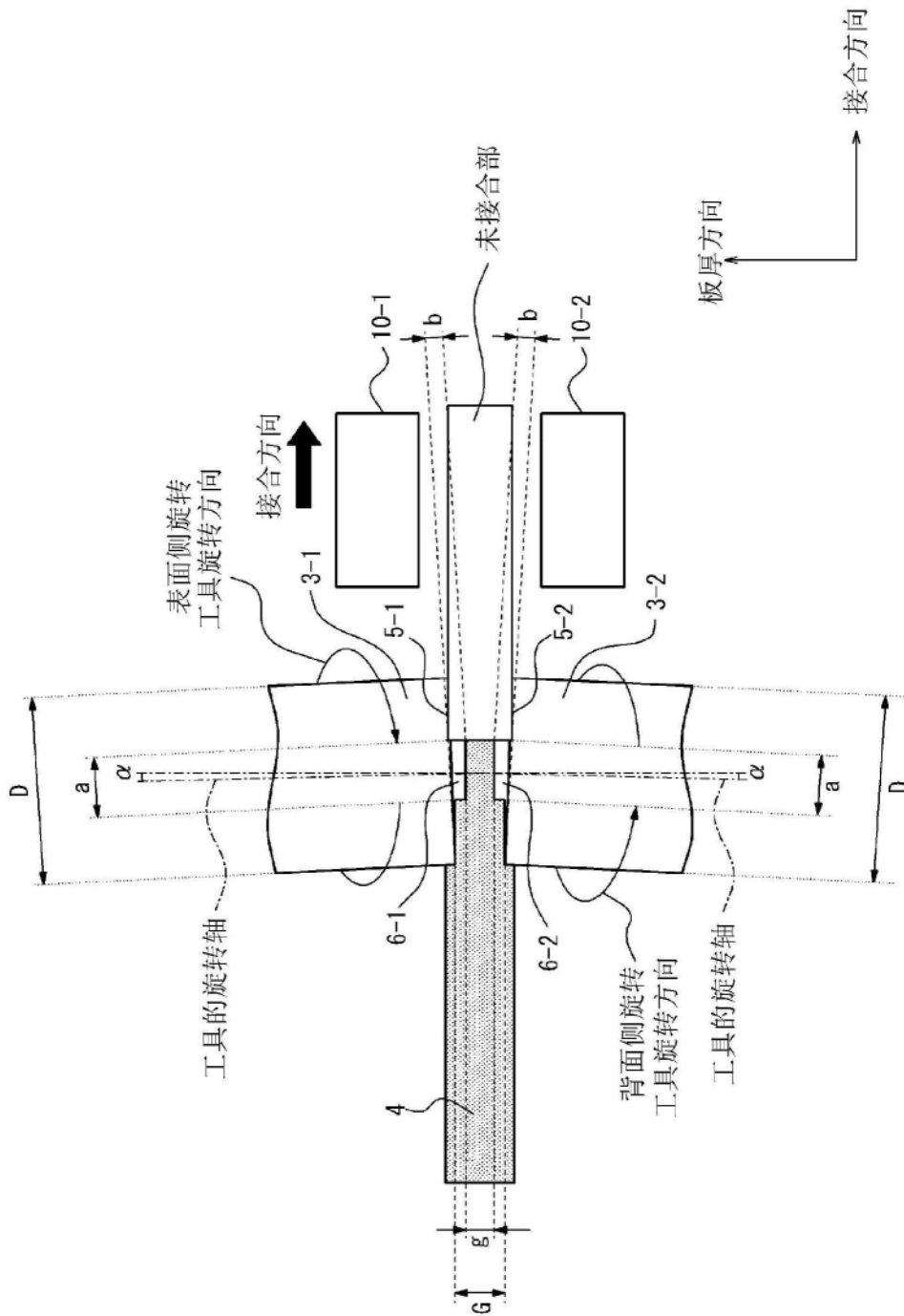


图1D

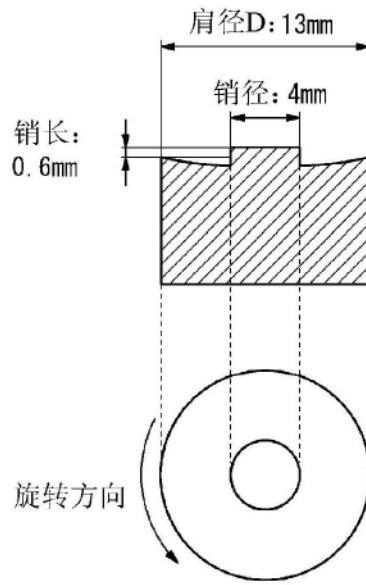


图2A

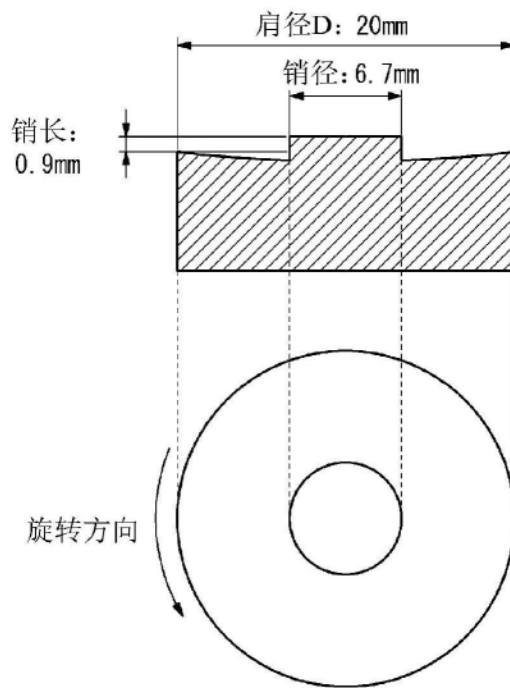


图2B

肩径D (前端直径)

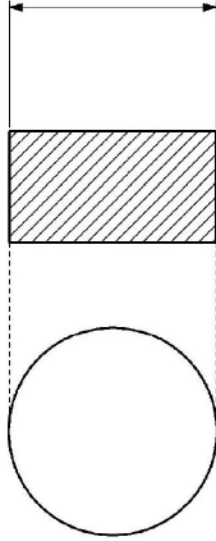


图3

肩径D (前端直径)

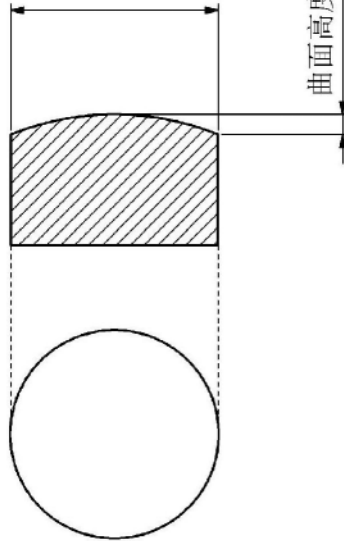


图4

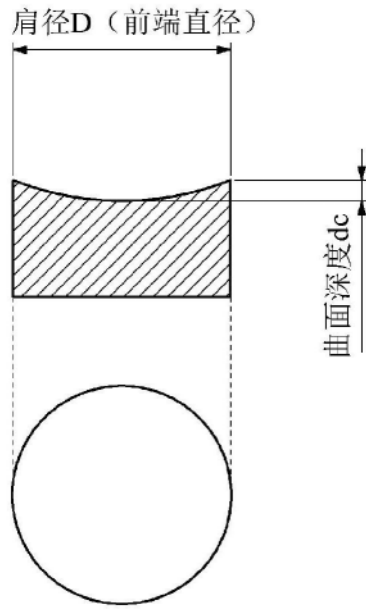


图5



图6

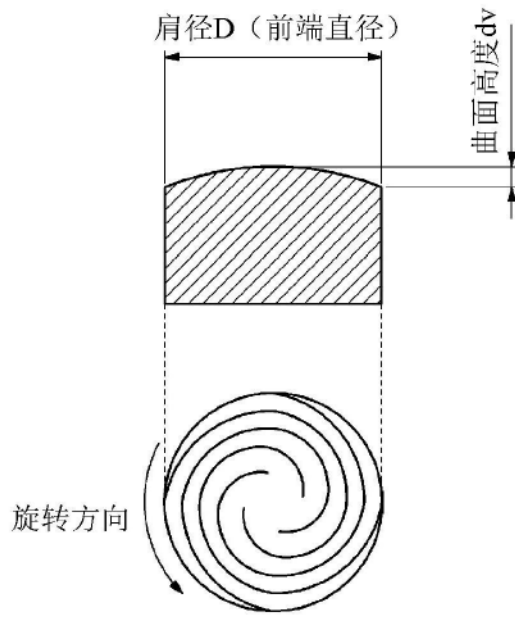


图7

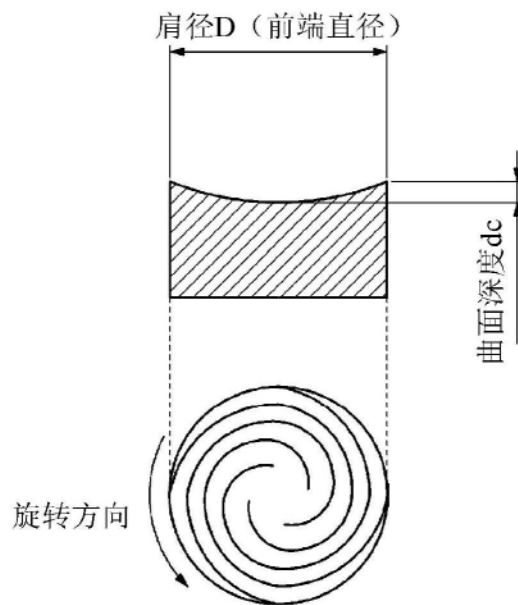


图8

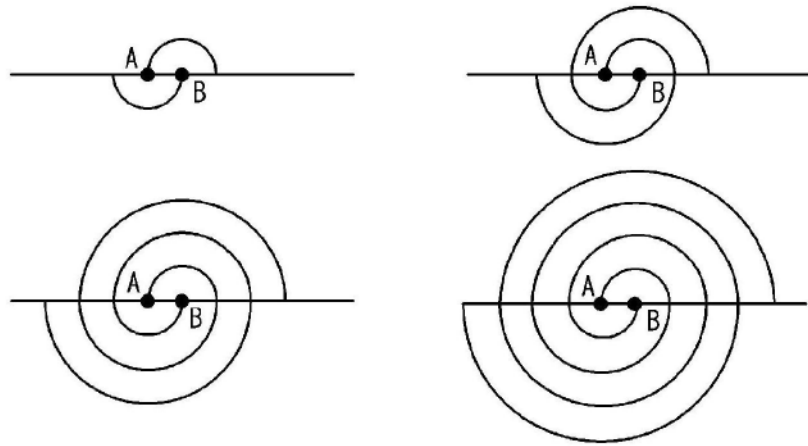


图9

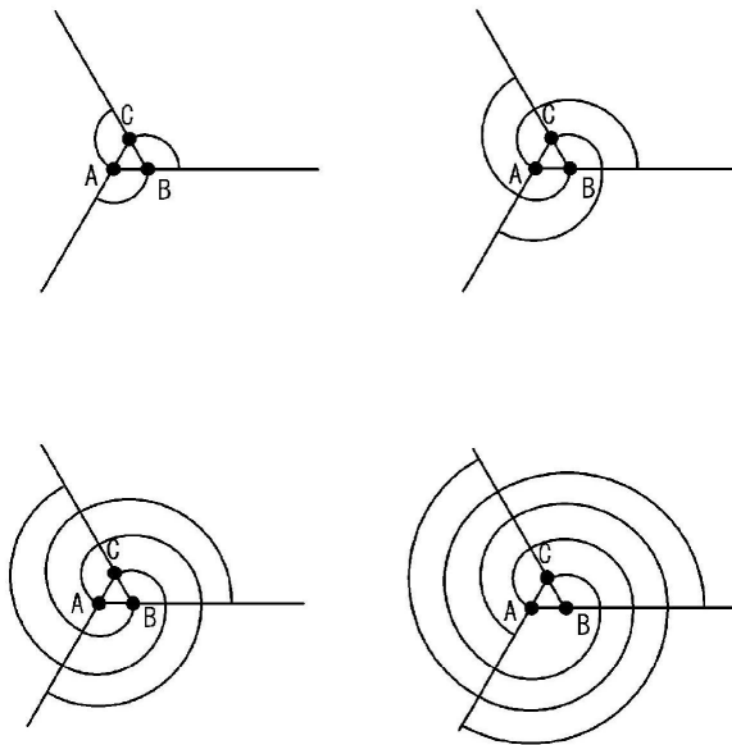


图10

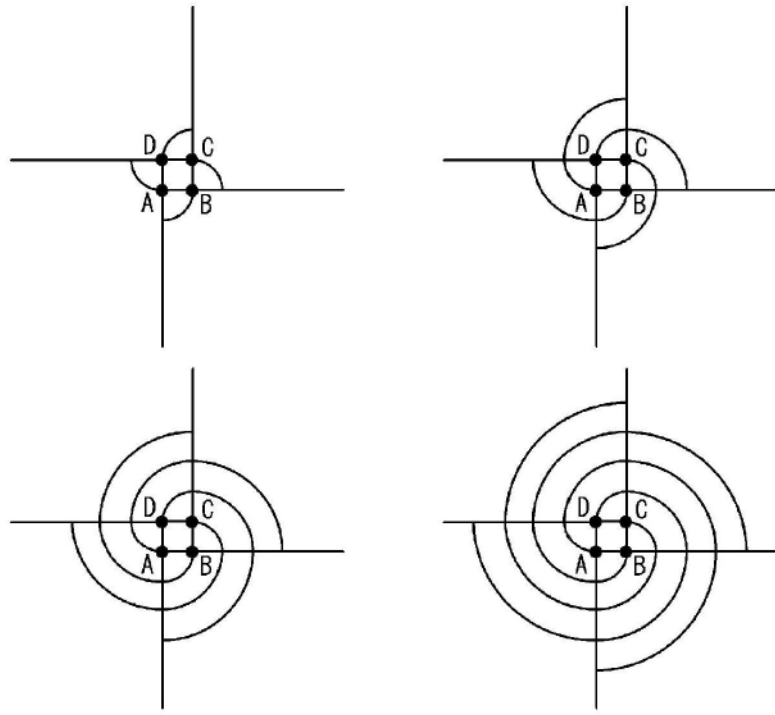


图11

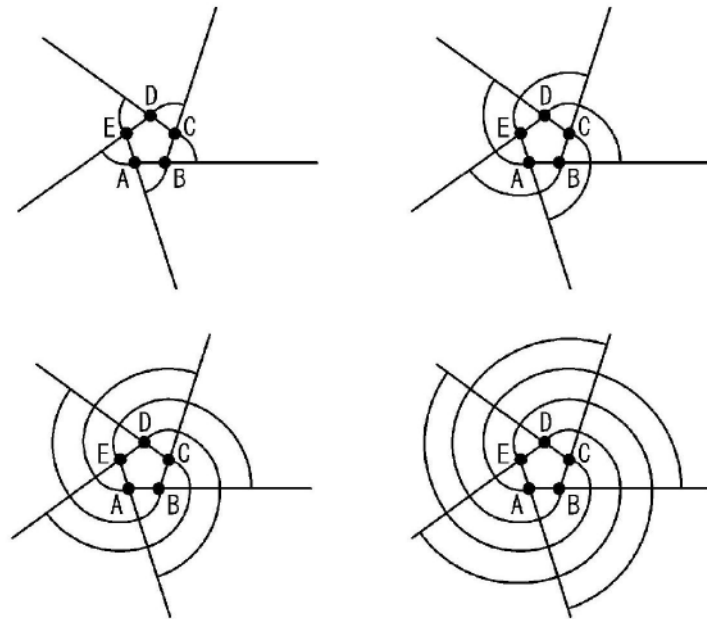


图12

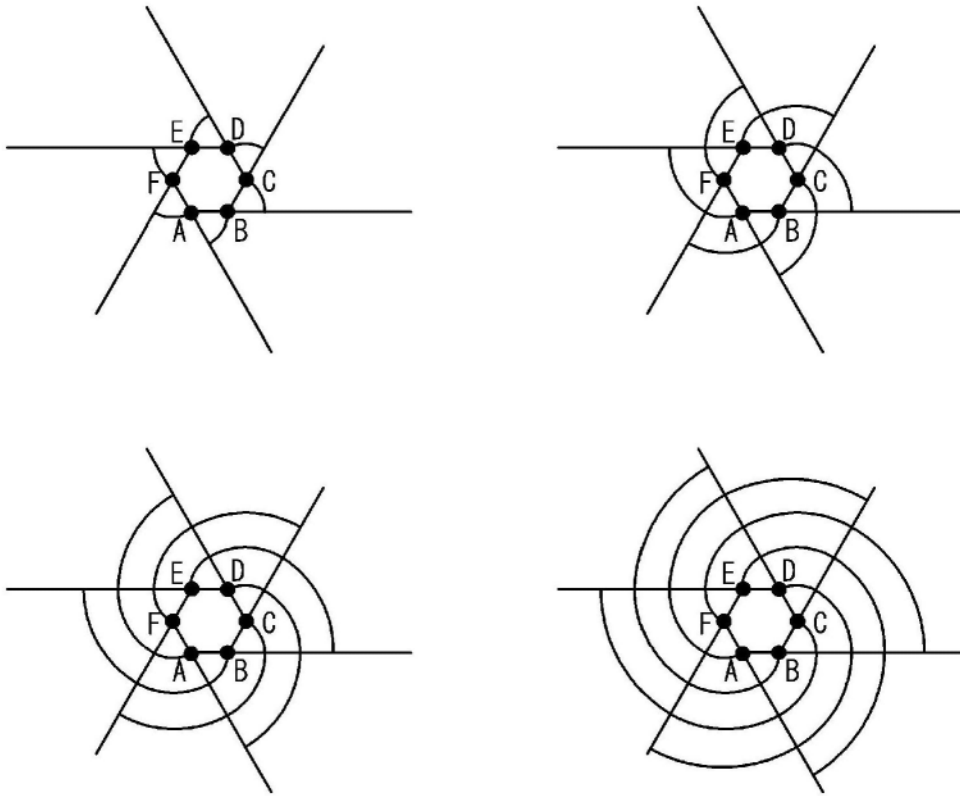


图13

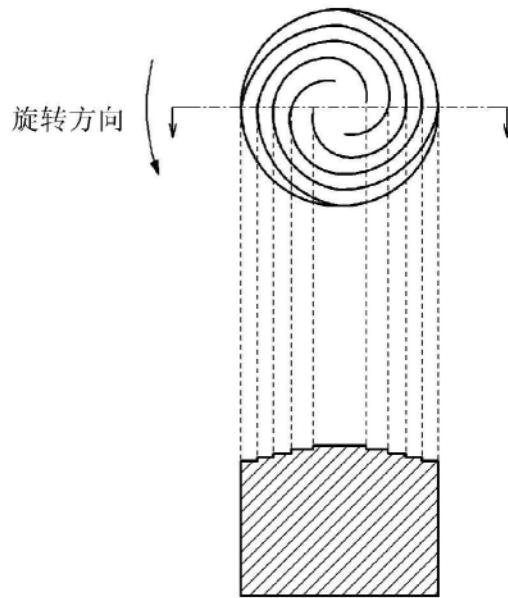


图14

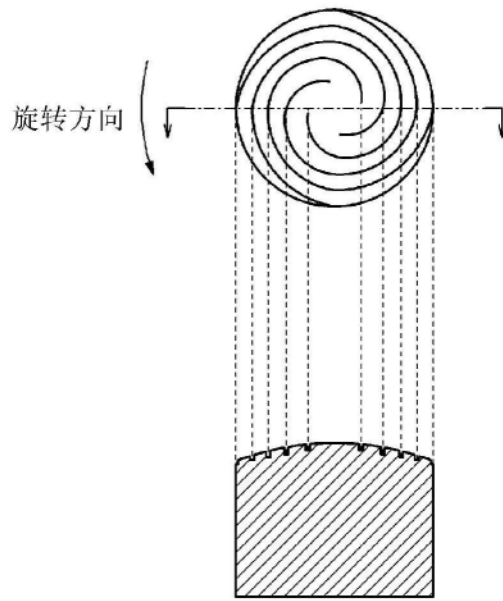


图15

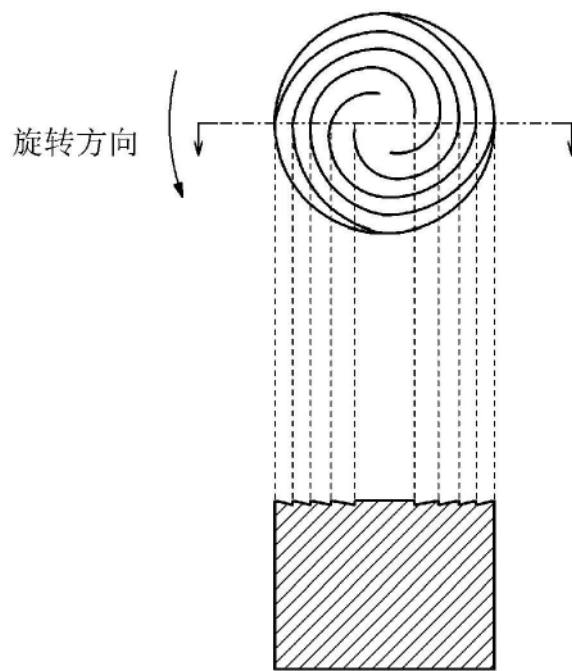


图16

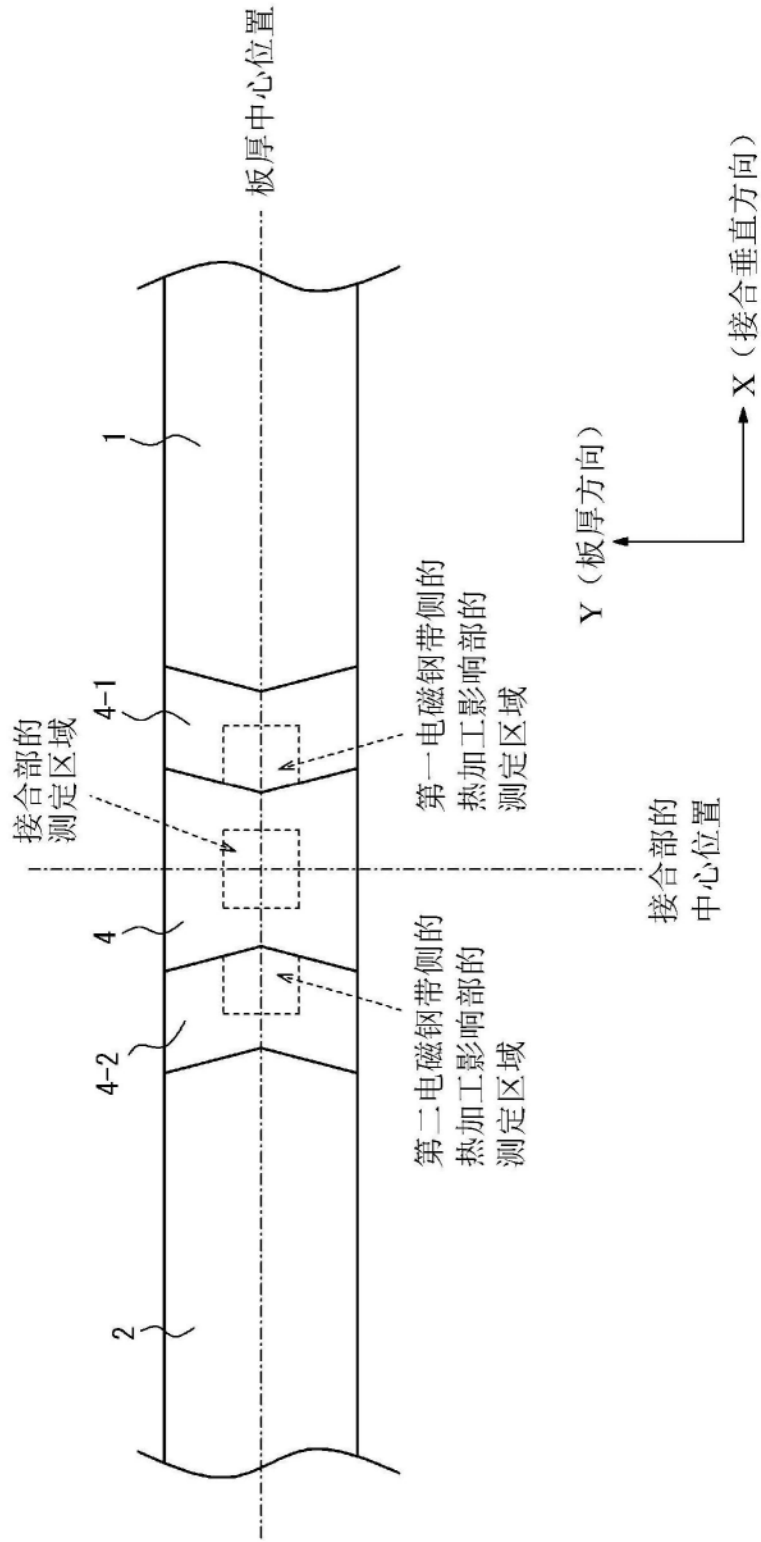


图17