



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I815594 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 09 月 11 日

(21)申請案號：111129658 (22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 08 月 08 日

(51)Int. Cl. : **B23K20/12 (2006.01)** **B23K101/18 (2006.01)**
B23K103/04 (2006.01)

(30)優先權：2021/09/13 日本 2021-148994
2021/09/13 日本 2021-148995

(71)申請人：日商杰富意鋼鐵股份有限公司(日本) JFE STEEL CORPORATION (JP)
日本

(72)發明人：松下宗生 MATSUSHITA, MUNEO (JP)；岩田匠平 IWATA, SHOHEI (JP)；木谷
靖 KITANI, YASUSHI (JP)

(74)代理人：卓俊傑；鮑亞嵐；卓孟儀

(56)參考文獻：

CN	111819020A	CN	112894120A
JP	2003-181655A	JP	2021-53700A
WO	2011/024320A1	WO	2019/054400A1
WO	2021/060176A1		

審查人員：黃繪禎

申請專利範圍項數：11 項 圖式數：19 共 103 頁

(54)名稱

電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法、及電磁鋼帶的製造方法

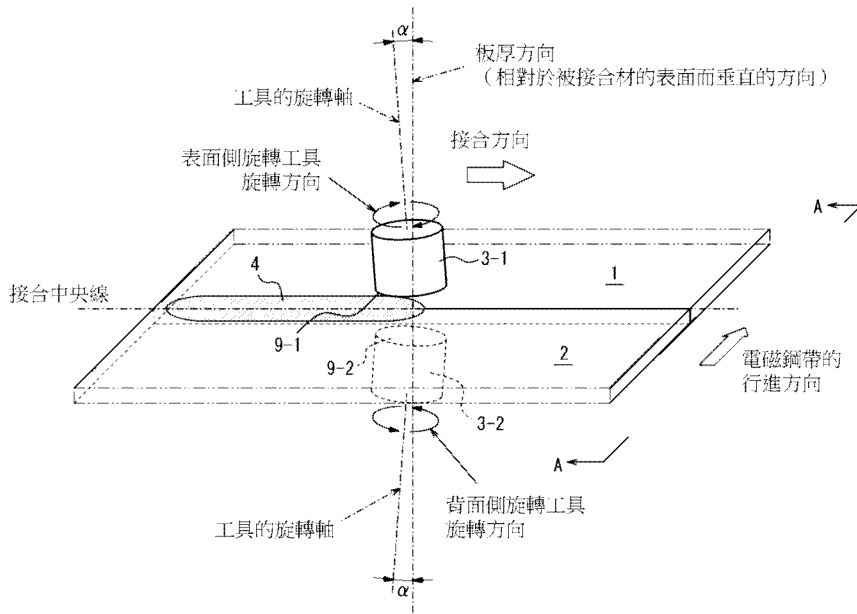
(57)摘要

本發明提供一種電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其可抑制因卷材接合部的機械特性劣化或形狀劣化而導致在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況。關於旋轉工具的肩部的直徑 D (mm)，滿足下式 (1) 的關係，且關於由旋轉工具的轉速 RS (次/分鐘)、旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 及接合速度 JS (mm/分鐘) 表示的 $RS \times D^3 / JS$ ，滿足下式 (2) 的關係。

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

指定代表圖：



【圖1A】

符號簡單說明：

1:第一電磁鋼帶(被接合材)

2:第二電磁鋼帶(被接合材)

3-1:旋轉工具(表面側旋轉工具)

3-2:旋轉工具(背面側旋轉工具)

4:接合部

9-1、9-2:前端部

α :傾斜角度



I815594

【發明摘要】

【中文發明名稱】電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法、及電磁鋼帶的製造方法

【中文】

本發明提供一種電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其可抑制因卷材接合部的機械特性劣化或形狀劣化而導致在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況。關於旋轉工具的肩部的直徑 D (mm)，滿足下式 (1) 的關係，且關於由旋轉工具的轉速 RS (次/分鐘)、旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 及接合速度 JS (mm/分鐘) 表示的 $RS \times D^3 / JS$ ，滿足下式 (2) 的關係。

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

【指定代表圖】圖 1A。

【代表圖之符號簡單說明】

- 1:第一電磁鋼帶 (被接合材)
- 2:第二電磁鋼帶 (被接合材)
- 3-1:旋轉工具 (表面側旋轉工具)
- 3-2:旋轉工具 (背面側旋轉工具)
- 4:接合部

9-1、9-2:前端部

α :傾斜角度

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法、及電磁鋼帶的製造方法

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法、及電磁鋼帶的製造方法。

【先前技術】

【0002】 於鋼板的生產線、例如酸洗、冷軋、退火及鍍敷等生產線中，為了提升生產性或提高良率，一般於實施所謂的卷材接合後使鋼帶通行。此處，所謂卷材接合，是指於生產線上將先行的鋼帶（以下，亦稱為先行鋼帶）的端部（後端）與繼先行鋼帶之後的鋼帶（以下，亦稱為後行鋼帶）的端部（前端）接合。以下，亦將藉由卷材接合而形成的接合部稱為卷材接合部。再者，前端是生產線上的鋼帶的前進方向側的端部。另外，後端是生產線上的鋼帶的與前進方向相反之側的端部。藉由進行該卷材接合，能夠於遍及鋼帶的全長而賦予了張力的狀態下進行軋製等。另外，於鋼帶的前端或後端，亦能夠對板厚或形狀進行高精度控制。

【0003】 於卷材接合中，先前一般應用閃光對焊（flash butt welding）等。但是，隨著雷射焊機的進步，例如於電磁鋼板或不鏽鋼鋼板、高張力鋼板的生產線上，於卷材接合中應用雷射焊接亦逐漸成為主流。

【0004】 作為此種技術，例如於專利文獻 1 中揭示了：

「一種高 Si 鋼的雷射焊接方法，其特徵在於，當對高 Si 鋼進行焊接時，使用以 Ni 為主成分的填充焊絲（filler wire），或者供給以 Ni 為主成分的粉末填料，以焊接金屬的化學組成滿足下述（1）式的方式進行焊接，

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

其中，[%Ni]、[%Si]、[%Cr]及[%Mo]分別表示焊接金屬中的 Ni、Si、Cr 及 Mo 的含量（重量%）。」。

【0005】 於專利文獻 2 中揭示了：

「一種雷射焊接方法，將先行板與後行板對接並使用填充焊絲進行雷射焊接，所述方法的特徵在於，焊接初期的所述先行板和後行板的對接縫隙（Gap）與焊接金屬的平均寬度（DEPO）之比（Gap/DEPO）為 0.3~0.8。」。

【0006】 於專利文獻 3 中揭示了：

「一種薄板的焊接部，對在連續冷軋線上搬送的包含特殊鋼的先行薄板與後行薄板進行雷射焊接而形成，所述焊接部中，

若將存在於上側伸出部的下側的所述母材的最小厚度設為 L1，將由下側伸出部與所述上側伸出部夾持的所述母材的最小厚度設為 L2，則 L1 及 L2 中的至少任一個大於零，所述上側伸出部包含藉由冷軋而於母材上表面側延伸出的焊接金屬，所述下側伸

出部包含藉由冷軋而於所述母材的下表面側延伸出的焊接金屬。」。

[現有技術文獻]

[專利文獻]

【0007】 專利文獻 1：日本專利特開平 5-305466 號公報

專利文獻 2：日本專利特開 2004-25284 號公報

專利文獻 3：日本專利特開 2011-140026 號公報

專利文獻 4：日本專利特表平 07-505090 號公報

專利文獻 5：日本專利第 3261433 號

專利文獻 6：日本專利第 4838385 號

專利文獻 7：日本專利第 4838388 號

專利文獻 8：日本專利特再表 2019-26864 號公報

專利文獻 9：日本專利特再表 2019-54400 號公報

專利文獻 10：日本專利第 5185103 號

專利文獻 11：日本專利特開 2015-127063 號公報

專利文獻 12：日本專利特開 2003-181655 號公報

專利文獻 13：日本專利特開 2003-290936 號公報

專利文獻 14：日本專利特開 2004-195480 號公報

專利文獻 15：日本專利特開 2011-115846 號公報

[非專利文獻]

【0008】 非專利文獻 1：崔,L.；藤井,H.；辻,N.；野木,K.（Cui,L.；Fujii,H.；Tsuji,N.；Nogi,K.）材料快報（Scripta Mater.）2007，56，

p.637-640.

【發明內容】

【0009】 [發明所欲解決之課題]

但是，由於雷射焊接是熔融焊接，因此會產生因熔融及凝固時的雜質偏析而引起的脆化、或因氫侵入而引起的脆化。其結果，有時會導致接合部（焊接部）的機械特性劣化。特別是，由於電磁鋼板的成分組成中含有大量的 Si，故卷材接合部的機械特性劣化容易變得明顯。因此，若如專利文獻 1～專利文獻 3 般應用雷射焊接作為電磁鋼帶的卷材接合，則存在如下問題：於生產線、例如連續冷軋線上，因卷材接合部發生斷裂、生產線停止等而導致生產性的降低。

【0010】 本發明是為了解決所述問題而開發的，其目的在於提供一種電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其可抑制因卷材接合部的機械特性劣化或形狀劣化而導致在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況。

另外，本發明的目的在於提供一種使用了所述電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法的電磁鋼帶的製造方法。

[解決課題之手段]

【0011】 於是，發明者等人為了達成所述目的而反覆進行了努力研究。首先，發明者等人對在應用雷射焊接作為電磁鋼帶的卷材接合的情況下會發生卷材接合部的機械特性劣化或形狀劣化的理由進行了調查/研究，結果獲得了以下見解。

【0012】 (a) 如上所述，於電磁鋼板的成分組成中含有大量的、例如為 2.0 質量%~5.0 質量%程度的 Si。Si 為鐵氧體穩定化元素。因此，若於電磁鋼帶的卷材接合中應用一般的雷射焊接，則作為熔融部的卷材接合部的鐵氧體晶粒、甚至熱影響部的鐵氧體晶粒粗大化。因此，卷材接合部的機械特性、特別是韌性或彎曲強度大幅劣化，導致在生產線上發生卷材接合部的斷裂。

【0013】 (b) 另外，於所述專利文獻 1~專利文獻 3 的技術中，使用以作為沃斯田鐵穩定化元素的 Ni 為主成分的填充材料（填充料）。因此，於卷材接合部主要獲得沃斯田鐵相。但是，於所述專利文獻 1~專利文獻 3 的技術中，需要消除先行鋼帶與後行鋼帶的對接縫隙的變動，對熔融部（焊接金屬）中的填充材料的融合量與鋼板的融合量進行極其嚴格的管理，並始終對熔融部（焊接金屬）中的 Ni 當量與 Cr 當量的平衡進行恰當控制。即，若熔融部（焊接金屬）中的 Ni 當量與 Cr 當量的平衡未得到恰當控制，則於卷材接合部會形成為硬且脆的組織的麻田散鐵相。因此，卷材接合部的機械特性、特別是韌性大幅劣化。另外，於熱影響部，由於鐵氧體晶粒的粗大化，卷材接合部的機械特性大幅劣化。基於該些理由，會導致在生產線上發生卷材接合部的斷裂。

【0014】 (c) 進而，所述先行鋼帶與後行鋼帶的對接縫隙的變動會對焊接部的余高產生影響。例如，於焊接部的余高變高而焊接部成為過度凸出的形狀的情況下，當對焊接部施加負荷時，應力會集中於焊趾部。因此，就該方面而言，所述先行鋼帶與後行鋼

帶的對接縫隙的變動成為在生產線上發生卷材接合部的斷裂的原因。再者，焊接部的盈餘可藉由磨削等而去除。但是，此種步驟的增加會導致生產性的大幅降低。

【0015】 依據以上方面，發明者等人進一步反覆進行了各種研究，結果，發明者等人構思出應用摩擦攪拌接合作為電磁鋼帶的卷材接合。

此處，所謂摩擦攪拌接合，是指利用了旋轉工具與被接合材的摩擦熱、及被接合材的塑性流動的固相接合。即，利用旋轉工具對被接合材的未接合部（接合預定區域）進行摩擦攪拌。當被接合材的未接合部藉由摩擦熱而受到加熱時，開始發生塑性流動。而且，塑性流動域與母材部的界面大幅伸長。藉此，不存在氧化物的純淨界面彼此接觸，被接合材不會熔融而形成接合部。此處，接合部是藉由旋轉工具和被接合材的摩擦熱與塑性流動而受到熱加工並成為再結晶組織的區域，有時亦稱為攪拌部。另外，於與接合部鄰接的區域中形成如下區域：該區域雖然會受到藉由摩擦熱與塑性流動進行的熱加工的影響，但因溫度或加工並不充分而成為未達再結晶的組織。將該區域稱為熱加工影響部。進而，於被接合材中亦存在不受藉由摩擦熱與塑性流動進行的熱加工的影響的區域。將該區域稱為母材部。再者，摩擦攪拌接合的相關技術例如於專利文獻 4～專利文獻 15 及非專利文獻 1 中進行了揭示，但該些均不適用於電磁鋼帶的卷材接合。

【0016】 因此，發明者等人基於所述構思進一步反覆進行了各種

研究，結果獲得了以下見解。

(d) 為了有利地解決所述 (a) ~ (c) 的問題，作為接合方式而應用所謂的雙面摩擦攪拌接合。於此基礎上，關於旋轉工具的肩部的直徑 D (mm)，重要的是使其滿足下式 (1) 的關係，且對接合條件進行適當控制。關於接合條件的控制，特別是關於由旋轉工具的轉速 RS (次/分鐘)、旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 及接合速度 JS (mm/分鐘) 表示的 $RS \times D^3 / JS$ ，重要的是使其滿足下式 (2) 的關係。

藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況得到有效抑制。另外，可於抑制缺陷產生的同時使接合速度高速化，因此就施工效率的方面而言亦極其有利。

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， TJ 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值 (mm)，

於未接合部為重疊部的情況下， TJ 為重疊部的厚度 (mm)。

【0017】 (e) 另外，適宜的是於同時滿足上列式 (1) 及式 (2)

的關係的基礎上，使接合部及熱加工影響部的鋼組織成為鐵氧體主體的組織，且同時達成接合部及熱加工影響部的鋼組織的微細化、和接合部與母材部的硬度差的降低。具體而言，適宜為同時滿足下式（3）～式（6）的關係。

藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況更有效地得到抑制。

$$D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \quad \cdots (3)$$

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \quad \cdots (4)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \quad \cdots (5)$$

$$0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \quad \cdots (6)$$

此處，

D_{sz} 為接合部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{haz1} 為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{haz2} 為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

Dbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

Hsz 為接合部的硬度的平均值，

Hbm1 為第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值，

Hbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

【0018】 (f) 此外，藉由應用所謂的雙面摩擦攪拌接合作為接合方式，且同時滿足上列式(1)及式(2)的關係，攪拌能力進一步提高。因此，能夠使用僅由肩部構成了旋轉工具的前端部的無銷的旋轉工具(以下，亦簡稱為無銷的旋轉工具)。即，銷(針(**pin**))於一般的旋轉工具(以下，亦稱為有銷的旋轉工具)中，以自肩部突出的方式配置於該旋轉工具的前端部。因此，於銷上施加較肩部大的應力而容易產生破損或磨損。因此，使用無銷的旋轉工具的情況就旋轉工具的耐久性或壽命延長、進而降低(基於旋轉工具的磨損或破損的)接合不良率的方面而言亦極其有利。此處，作為無銷的旋轉工具，例如可列舉將旋轉工具的前端面(與被接合材的接觸面)設為平面、凸型的曲面或凹型的曲面的無銷的旋轉工具。

【0019】 (g) 另外，於無銷的旋轉工具中，適宜的是於旋轉工具的前端面設置與旋轉為相反方向的旋渦狀的階差部。藉此，可促進塑性流動以提高接合速度，進一步提升施工效率。

本發明是於所述見解的基礎上進一步加以研究而完成者。

【0020】 即，本發明的主旨結構為如下所述。

1.一種電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，藉由彼此相向的一對旋轉工具將第一電磁鋼帶與繼所述第一電磁鋼帶之後的第二電磁鋼帶接合，所述電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，

對於作為所述第一電磁鋼帶的端部與所述第二電磁鋼帶的端部的對接部或重疊部的未接合部，使所述旋轉工具自所述未接合部的兩面一邊向彼此相反的方向旋轉一邊予以按壓，

繼而，使所述旋轉工具沿接合方向移動，藉此將所述第一電磁鋼帶與所述第二電磁鋼帶接合，

另外，所述旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 滿足下式 (1) 的關係，且，

由所述旋轉工具的轉速 RS (次/分鐘)、所述旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 及接合速度 JS (mm/分鐘) 表示的 $RS \times D^3 / JS$ 滿足下式 (2) 的關係。

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， TJ 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值 (mm)，

於未接合部為重疊部的情況下， TJ 為重疊部的厚度 (mm)。

【0021】 2.如所述 1 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，

於藉由所述第一電磁鋼帶與所述第二電磁鋼帶的接合而形成的接合部及熱加工影響部的鋼組織分別成為鐵氧體相主體的組織、且滿足下式(3)~式(6)的關係的條件下進行接合。

$$D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \quad \cdots (3)$$

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \quad \cdots (4)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \quad \cdots (5)$$

$$0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \quad \cdots (6)$$

此處，

D_{sz} 為接合部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{haz1} 為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{haz2} 為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{bm2} 為第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

H_{sz} 為接合部的硬度的平均值，

H_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值，

Hbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

【0022】 3.如所述 1 或 2 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，於滿足下式（7）及式（8）的關係的條件下進行接合。

$$0.8 \times T_{bmL} \leq T_{szL} \quad \dots (7)$$

$$T_{szH} \leq 1.3 \times T_{bmH} \quad \dots (8)$$

此處，

T_{szL} 為接合部的厚度的最小值（mm），

T_{szH} 為接合部的厚度的最大值（mm），

T_{bmL} 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較薄的電磁鋼帶的板厚（mm），

T_{bmH} 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較厚的電磁鋼帶的板厚（mm）。

其中，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚相同的情況下，為 $T_{bmL} = T_{bmH}$ 。

【0023】 4.如所述 1 至 3 中任一項所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的傾斜角度 α （°）滿足下式（9）的關係。

$$0^\circ < \alpha \leq 2^\circ \quad \dots (9)$$

【0024】 5.如所述 1 至 4 中任一項所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的肩部間間隙 G (mm) 滿足下式 (10) 的關係。

$$0.5 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \leq G \leq 0.9 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \quad \cdots (10)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， TJ 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值 (mm)，

於未接合部為重疊部的情況下， TJ 為重疊部的厚度 (mm)。

另外， D 為旋轉工具的肩部的直徑 (mm)， α 為旋轉工具的傾斜角度 (°)。

【0025】 6.如所述 1 至 5 中任一項所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具為無銷的旋轉工具。

【0026】 7.如所述 6 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的前端面為平面、凸型的曲面或凹型的曲面。

【0027】 8.如所述 6 或 7 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的前端面具有與旋轉為相反方向的旋渦狀的階差部。

【0028】 9.如所述 8 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋渦狀的階差部自所述旋轉工具的前端面的中心朝向外周逐漸變低。

【0029】 10.如所述 8 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋渦狀的階差部自所述旋轉工具的前端面的中心朝向外周逐漸變高。

【0030】 11.一種電磁鋼帶的製造方法，包括：藉由如所述 1 至 10 中任一項所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合而獲得接合鋼帶的步驟；以及

對所述接合鋼帶實施冷軋而獲得冷軋鋼帶的步驟。

[發明的效果]

【0031】 藉由本發明，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會產生卷材接合部的機械特性劣化或形狀劣化，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況得到有效抑制。藉此，可達成電磁鋼板的生產性的進一步提升，產業上的利用價值極大。另外，可於抑制缺陷產生的同時使接合速度高速化，因此就施工效率的方面而言亦極其有利。進而，由於可使用無銷的旋轉工具，因此就旋轉工具的耐久性或壽命延長、進而降低接合不良率的方面而言亦極其有利。

【圖式簡單說明】

【0032】

圖 1A 是對依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法進行說明的概略圖，且是表示藉由雙面摩擦攪拌接合方法進行的對接接合的一例的側面立體圖。

圖 1B 是圖 1A 的 A-A 箭視圖。

圖 1C 是對依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法進行說明的概略圖，且是表示藉由雙面摩擦攪拌接合方法進行的對接接合的一例的側面立體圖。

圖 1D 是圖 1C 的 A-A 箭視圖。

圖 2A 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的有銷的旋轉工具的形狀的一例的示意圖。

圖 2B 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的有銷的旋轉工具的形狀的一例的示意圖。

圖 3 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的無銷的旋轉工具（前端平面旋轉工具）的形狀的一例的示意圖。

圖 4 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的無銷的旋轉工具（前端凸型旋轉工具）的形狀的一例的示意圖。

圖 5 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的無銷的旋轉工具（前端凹型旋轉工具）的形狀的一例的示意圖。

圖 6 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的無銷的旋轉工具（設置有階差部的前端平面旋轉工具）的形狀的一例的示意圖。

圖 7 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的無銷的旋轉工具（設置有階差部的前端凸型旋轉

工具)的形狀的一例的示意圖。

圖 8 是表示依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的無銼的旋轉工具(設置有階差部的前端凹型旋轉工具)的形狀的一例的示意圖。

圖 9 是對劃定階差部的旋渦為 2 個、且等間隔地配置(描繪)旋渦的方法進行說明的圖。

圖 10 是對劃定階差部的旋渦為 3 個、且等間隔地配置(描繪)旋渦的方法進行說明的圖。

圖 11 是對劃定階差部的旋渦為 4 個、且等間隔地配置(描繪)旋渦的方法進行說明的圖。

圖 12 是對劃定階差部的旋渦為 5 個、且等間隔地配置(描繪)旋渦的方法進行說明的圖。

圖 13 是對劃定階差部的旋渦為 6 個、且等間隔地配置(描繪)旋渦的方法進行說明的圖。

圖 14 是表示設置有階梯狀的階差部的前端凸型旋轉工具的一例的示意圖。

圖 15 是表示設置有槽狀的階差部的前端凸型旋轉工具的一例的示意圖。

圖 16 是表示設置有槽狀的階差部的前端平面旋轉工具的一例的示意圖。

圖 17 是藉由依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法獲得的電磁鋼帶的接合接頭的示意圖。

圖 18A 是表示藉由單面摩擦攪拌接合方法進行的對接接合的一例的概略圖（側面立體圖）。

圖 18B 是圖 18A 的 A-A 箭視圖。

圖 19A 是表示單面摩擦攪拌接合方法中使用的旋轉工具的形狀的一例的示意圖。

圖 19B 是表示單面摩擦攪拌接合方法中使用的旋轉工具的形狀的一例的示意圖。

【實施方式】

【0033】 基於以下的實施形態對本發明進行說明。

【0034】 [1]電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法

首先，使用圖 1A～圖 1D 對依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法進行說明。圖 1A～圖 1D 是對依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法進行說明的概略圖。圖 1A 是使用無銷的旋轉工具時的側面立體圖，圖 1B 是圖 1A 的 A-A 箭視圖。另外，圖 1C 是使用有銷的旋轉工具時的側面立體圖，圖 1D 是圖 1C 的 A-A 箭視圖。

圖中，符號 1 為第一電磁鋼帶（被接合材），符號 2 為第二電磁鋼帶（被接合材），符號 3-1 為旋轉工具（表面側旋轉工具），符號 3-2 為旋轉工具（背面側旋轉工具），符號 4 為接合部，符號 5-1 及符號 5-2 為肩部（凸肩（shoulder）），符號 6-1 及符號 6-2 為銷（針），符號 7 為把持裝置，符號 9-1 及符號 9-2 為前端部。再者，於圖 1A 及圖 1C 中，省略了把持裝置的圖示。

另外，於圖 1B 及圖 1D 中，鉛垂方向為板厚方向。水平方向為與接合方向垂直且與板厚方向垂直的方向（以下，亦稱為接合垂直方向）。紙面近前側的方向為接合方向。即，於圖 1B 及圖 1D 所示的面內，包含接合垂直方向以及板厚方向。

【0035】 再者，此處提及的所謂電磁鋼帶，是指作為電磁鋼板的製造用原材料的中間製品的含義，特別是指自熱軋結束後至用於一次再結晶的熱處理（例如，脫碳退火或一次再結晶退火）前的階段中的中間製品。再者，藉由依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的製造方法製造的電磁鋼帶是如後所述般將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合後進行冷軋而得者，以下，亦將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合後的狀態的電磁鋼帶稱為接合鋼帶，亦將對該接合鋼帶進行冷軋而成的電磁鋼帶稱為冷軋鋼帶。另外，依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法例如適宜於電磁鋼帶的生產線、特別是連續冷軋線上實施。此處，所謂連續冷軋線是指利用冷軋裝置對鋼帶進行連續冷軋的生產線。連續冷軋線例如包括鋼帶的搬送裝置以及冷軋裝置。於連續冷軋線上，有時亦任意地進一步附帶酸洗裝置或退火爐、塗敷裝置等。

【0036】 如上所述，依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法是：

一種藉由彼此相向的一對旋轉工具將第一電磁鋼帶與繼所述第一電磁鋼帶之後的第二電磁鋼帶接合的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，

對於作為所述第一電磁鋼帶的端部與所述第二電磁鋼帶的端部的對接部或重疊部的未接合部，使所述旋轉工具自所述未接合部的兩面一邊向彼此相反的方向旋轉一邊予以按壓，

繼而，使所述旋轉工具沿接合方向移動，藉此將所述第一電磁鋼帶與所述第二電磁鋼帶接合，

另外，所述旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 滿足下式 (1) 的關係，且，

由所述旋轉工具的轉速 RS (次/分鐘)、所述旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 及接合速度 JS (mm/分鐘) 表示的 $RS \times D^3 / JS$ 滿足下式 (2) 的關係。

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， TJ 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值 (mm)，

於未接合部為重疊部的情況下， TJ 為重疊部的厚度 (mm)。

【0037】 此處，作為接頭形式的適宜的例子，可列舉對接接合及搭接接合。

所謂對接接合，是指於使第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的端面彼此相向的狀態下，使旋轉工具一邊旋轉一邊按壓包含第一電

磁鋼帶與第二電磁鋼帶的端面（對接面）的對接部。然後，於該狀態下，使旋轉工具沿接合方向移動，藉此將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合。

所謂搭接接合，是指將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的端部的至少一部分重疊，使旋轉工具一邊旋轉一邊按壓重疊部。然後，於該狀態下，使旋轉工具沿接合方向移動，藉此將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合。

【0038】 對接接合與搭接接合僅未接合部的形態不同，其他裝置的結構基本相同，因此，此處，例示如圖 1A～圖 1D 般藉由雙面摩擦攪拌接合進行對接接合的情況來進行說明。雙面摩擦攪拌接合方法是使用彼此相向的一對旋轉工具將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合的摩擦攪拌接合方法。即，使彼此相向的一對旋轉工具自未接合部的兩面一邊向彼此相反的方向旋轉一邊予以按壓，並於該狀態下，使旋轉工具沿接合方向移動，藉此將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合。

【0039】 於雙面摩擦攪拌接合中，例如使用雙面摩擦攪拌接合裝置，所述雙面摩擦攪拌接合裝置包括彼此相向的一對旋轉工具、把持裝置及對旋轉工具的動作進行控制的控制裝置（未圖示）。於控制裝置中，例如對旋轉工具的傾斜角度 α 、旋轉工具的前端部的位置及前端部（銷）彼此之間的距離（以下，亦稱為銷間の間隙）、旋轉工具的肩部間の間隙 G 、接合速度、壓入荷重、旋轉工具的轉速以及旋轉轉矩等進行控制。

【0040】 於雙面摩擦攪拌接合中，將摩擦攪拌接合裝置的旋轉工具分別配置於作為被接合材的第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的兩面。再者，有時將配置於第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的表面側（鉛垂方向上側）的旋轉工具稱為表面側旋轉工具，將配置於第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的背面側（鉛垂方向下側）的旋轉工具稱為背面側旋轉工具。第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶以與圖中所示的接合中央線平行的方式配置，且分別由把持裝置把持。然後，對於位於接合中央線上的未接合部（接合預定區域）、即第一電磁鋼帶的端部（後端）與第二電磁鋼帶的端部（前端）的對接部的兩面，分別使旋轉工具一邊旋轉一邊予以按壓。繼而，於該狀態下，使旋轉工具沿接合方向移動。藉此，藉由旋轉工具與作為被接合材的第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的摩擦熱使該被接合材軟化。然後，利用旋轉工具對該軟化的部位進行攪拌，藉此使其產生塑性流動，將作為被接合材的第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合。再者，於接合完成的部分形成接合部。另外，與接合部鄰接地形成熱加工影響部。

【0041】 而且，於依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，重要的是同時滿足以下方面。

- 作為接合方式，應用所述雙面摩擦攪拌接合。
- 關於旋轉工具的肩部的直徑 D (mm)，使其滿足下式 (1) 的關係。
- 對接合條件進行適當控制，特別是關於由旋轉工具的轉速

RS（次/分鐘）、旋轉工具的肩部的直徑 D （mm）及接合速度 JS（mm/分鐘）表示的 $RS \times D^3 / JS$ ，使其滿足下式（2）的關係。

藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況得到有效抑制。另外，可於抑制缺陷產生的同時使接合速度高速化，因此就施工效率的方面而言亦極其有利。

$$4 \times T_J \leq D \leq 10 \times T_J \quad \dots (1)$$

$$200 \times T_J \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times T_J \quad \dots (2)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， T_J 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值（mm），

於未接合部為重疊部的情況下， T_J 為重疊部的厚度（mm）。

【0042】 即，根據未接合部的厚度對旋轉工具的肩部的直徑 D （以下，亦簡稱為肩徑 D ）進行適當控制。藉此，可有效地對被接合材賦予由旋轉工具與作為被接合材的第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶之間產生的摩擦熱引起的溫度上升、以及由摩擦力引起的剪切應力。此處，若肩徑 D 小於 $4 \times T_J$ （mm），則有時無法獲得充分的塑性流動。另一方面，若肩徑 D 超過 $10 \times T_J$ （mm），則產生塑性流動的區域不必要地擴大，於接合部被投入過大的熱量。因此，

導致接合部的再結晶組織的粗大化。另外，亦有對接合裝置施加過大的負荷之虞。因此，關於肩徑 D ，使其滿足所述式 (1) 的關係。肩徑 D 較佳為 $5.5 \times TJ$ (mm) 以上。肩徑 D 較佳為 $8 \times TJ$ (mm) 以下。

【0043】再者，於無銷的旋轉工具的情況下，如圖 3~圖 5 所示，肩徑 D 亦可稱為前端徑。前端徑為旋轉工具的前端面在與旋轉軸垂直的面上的直徑（將旋轉工具的前端面向與旋轉軸平行的方向投影時的投影區域的直徑）。

【0044】另外， $RS \times D^3 / JS$ 是與每單位接合長度的發熱量相關的參數。而且，藉由將 $RS \times D^3 / JS$ 的範圍設為 $200 \times TJ \sim 2000 \times TJ$ ，可有效地對被接合材賦予由旋轉工具與作為被接合材的第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶之間產生的摩擦熱引起的溫度上升、以及由摩擦力引起的剪切應力。此處，當 $RS \times D^3 / JS$ 小於 $200 \times TJ$ 時，發熱量變得不充分。因此，有時難以於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的接面形成冶金上經接合的狀態的接合界面。另一方面，若 $RS \times D^3 / JS$ 超過 $2000 \times TJ$ ，則由摩擦攪拌引起的發熱量變得過大，於接合部被投入過大的熱量。因此，接合部的峰值溫度（最高到達溫度）上升，或者冷卻速度降低，導致接合部的再結晶組織粗大化。因此，關於 $RS \times D^3 / JS$ ，使其滿足所述式 (2) 的關係。 $RS \times D^3 / JS$ 較佳為 $280 \times TJ$ 以上。另外， $RS \times D^3 / JS$ 較佳為 $1600 \times TJ$ 以下。

【0045】再者，當於表面側旋轉工具與背面側旋轉工具中旋轉工具的轉速 RS 及肩徑 D 不同時，設為在表面側旋轉工具及背面側

旋轉工具的各旋轉工具中滿足上列式（1）及式（2）的關係。

【0046】另外，於依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，適宜的是於藉由第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的接合而形成的接合部及熱加工影響部的鋼組織分別成為鐵氧體相主體的組織、且滿足下式（3）～式（6）的關係的條件下進行接合。藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況更有效地得到抑制。

$$D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \quad \cdots (3)$$

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \quad \cdots (4)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \quad \cdots (5)$$

$$0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \quad \cdots (6)$$

此處，

D_{sz} 為接合部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{haz1} 為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{haz2} 為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值

(μm)，

Dbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值

(μm)，

Hsz 為接合部的硬度的平均值，

Hbm1 為第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值，

Hbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

【0047】 進而，於依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，適宜的是於滿足下式(7)及式(8)的關係的條件下進行接合。

$$0.8 \times \text{TbmL} \leq \text{TszL} \quad \cdots (7)$$

$$\text{TszH} \leq 1.3 \times \text{TbmH} \quad \cdots (8)$$

此處，

TszL 為接合部的厚度的最小值 (mm)，

TszH 為接合部的厚度的最大值 (mm)，

TbmL 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較薄的電磁鋼帶的板厚 (mm)，

TbmH 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較厚的電磁鋼帶的板厚 (mm)。

其中，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚相同的情況下，為 $\text{TbmL} = \text{TbmH}$ 。

【0048】再者，關於被接合材（第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶）、接合部及熱加工影響部、以及上列式（3）～式（8）等的說明，如後述的[2]電磁鋼帶的接合接頭中所記載。

【0049】另外，於依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，較佳為旋轉工具的傾斜角度 α 滿足下式（9）的關係。

$$0^\circ < \alpha \leq 2^\circ \quad \dots (9)$$

此處， α 為包含接合方向以及板厚方向（相對於被接合材的表面而垂直的方向）的面中的、旋轉工具的旋轉軸（以下，亦稱為工具的旋轉軸）相對於板厚方向（相對於被接合材的表面而垂直的方向）的傾斜角度。再者，將旋轉工具的前端部相對於接合方向而領先的朝向（的角度）設為+。

【0050】即，旋轉工具由較被接合材硬的材質形成。但是，於使用了陶瓷等缺乏韌性的材料的旋轉工具中，若對銷加載彎曲方向的力，則應力會局部地集中，有造成破壞之虞。關於該方面，若使工具的旋轉軸相對於板厚方向傾斜 α （°）以使銷的前端相對於接合方向而領先，則可使針對旋轉工具的負荷作為在旋轉軸方向上被壓縮的分力而由旋轉工具承受。藉此，可降低彎曲方向的力，可避免旋轉工具的破壞。

【0051】此處，若旋轉工具的傾斜角度 α 超過 0° ，則可獲得上述效果。但是，若旋轉工具的傾斜角度 α 超過 2° ，則接合部的表面/

背面容易成為凹形。因此，接合部的厚度的最小值相對於母材的厚度而降低。其結果，會對接頭強度產生不良影響，有時會導致在生產線上發生卷材接合部的斷裂。因此，旋轉工具的傾斜角度 α 較佳為在表面側旋轉工具與背面側旋轉工具兩者中設為 $0^\circ < \alpha \leq 2^\circ$ 的範圍。

【0052】 進而，於依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，較佳為旋轉工具的肩部間間隙 G (mm) 滿足下式 (10) 的關係。

$$0.5 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \leq G \leq 0.9 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \quad \cdots (10)$$

【0053】 即，於雙面摩擦攪拌接合中，就抑制接合時的缺陷產生、同時達成接合速度的高速化的觀點而言，有利的是對旋轉工具的肩部間間隙 G (以下，亦簡稱為肩部間間隙 G) 進行適當控制。再者，肩部間間隙 G 亦可稱為板厚方向上的表面側旋轉工具的肩部與背面側旋轉工具的肩部的間隔距離。特別是若肩部間間隙 G 處於 $0.5 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \sim 0.9 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha$ 的範圍內，則彼此相向的旋轉工具的肩部成為與被接合材的表面側及背面側密接或壓入被接合材的表面側及背面側的狀態。其結果，被接合材自表面側及背面側被旋轉工具的肩部以充分的荷重按壓，於抑制接合時的缺陷產生、同時達成接合速度的高速化的方面是有利的。因此，肩部間間隙 G 較佳設為 $0.5 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \sim 0.9 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha$ 的

範圍。

【0054】 關於上述以外的條件，只要是滿足上列式（1）及式（2）的關係的條件，則並無特別限定，依照常規方法即可。

例如，旋轉工具的轉速較佳為 300 r/min（次/分鐘）～9000 r/min（次/分鐘）。藉由將旋轉工具的轉速設為該範圍內，可於良好地保持表面形狀的同時抑制因投入過大的熱量而引起的機械特性的降低，因此有利。旋轉工具的轉速更佳為 400 r/min 以上。另外，旋轉工具的轉速更佳為 8000 r/min 以下。

接合速度較佳為 800 mm/min（毫米/分鐘）～5000 mm/min（毫米/分鐘）。接合速度更佳為 1000 mm/min 以上。接合速度更佳為 4000 mm/min 以下。

旋轉工具的前端部的位置或壓入荷重、旋轉轉矩、銷間的間隙等依照常規方法適當設定即可。

【0055】 再者，如圖 1A～圖 1D 所示，於雙面摩擦攪拌接合中，將表面側旋轉工具的旋轉方向與背面側旋轉工具的旋轉方向設為自被接合材的表面側（或背面側）觀察時為相反方向。另外，表面側旋轉工具的轉速與背面側旋轉工具的轉速較佳設為相同轉速。藉此，可將自表面側旋轉工具施加至被接合材的旋轉轉矩與自背面側旋轉工具施加至被接合材的旋轉轉矩相互抵消。其結果，與自其中一個面按壓未接合部來進行接合的單面摩擦攪拌接合法相比，能夠簡化用於約束被接合材的夾具的結構。

【0056】 另外，若將表面側旋轉工具的旋轉方向與背面側旋轉工

具的旋轉方向設為自被接合材的表面側（或背面側）觀察時為相同方向，則相對於其中一個旋轉工具而言的另一個旋轉工具的相對速度接近於零。其結果，被接合材的塑性流動接近均質狀態，塑性變形亦變小。因此，亦無法獲得由材料的塑性變形引起的發熱，故難以達成良好的接合狀態。因此，就相對於被接合材的板厚方向而均質地獲得對於達成良好的接合狀態而言充分的溫度上升與剪切應力的觀點而言，有效的是將表面側旋轉工具的旋轉方向與背面側旋轉工具的旋轉方向設為自被接合材的表面側（或背面側）觀察時為相反方向。

【0057】另外，關於在依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中使用的旋轉工具，只要滿足上列式（1）的關係，則亦無特別限定，依照常規方法即可。

例如，旋轉工具的前端部於接合時與作為被接合材的第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶接觸。因此，旋轉工具的前端部由在接合時暴露的高溫狀態下較第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶硬的材質形成。藉此，於接合時，旋轉工具可於保持前端部的形狀的狀態下對第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶施加變形。其結果，可持續達成高攪拌能力，能夠進行恰當的接合。再者，關於旋轉工具的前端部、第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的硬度，藉由高溫維氏硬度試驗方法進行測定並加以比較即可。再者，可使旋轉工具的僅前端部由較第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶硬的材質形成。另外，亦可使旋轉工具整體由較第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶硬的材質形

成。

【0058】 於圖 2A 及圖 2B 中分別示出有銷的旋轉工具的例子。再者，如圖 2A 及圖 2B 所示，有銷的旋轉工具中，旋轉工具的前端部包括肩部（圖中的由肩徑表示的範圍）、以及配置於該肩部且與該肩部共有旋轉軸的銷（圖中的由針徑表示的範圍）。

於圖 2A 所示的旋轉工具的例子中，旋轉工具的形狀為肩徑 D ：13 mm、針徑：4 mm、針長度：0.6 mm、凹面深度（未圖示）：0.3 mm。

於圖 2B 所示的旋轉工具的例子中，旋轉工具的形狀為肩徑 D ：21 mm、針徑：6.7 mm、針長度：0.9 mm、凹面深度（未圖示）：0.3 mm。

【0059】 於有銷的旋轉工具中，肩部呈由大致平面或平緩曲面形成的平坦形狀。肩部具有於接合時一邊旋轉一邊與第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶接觸並產生摩擦熱的功能。另外，肩部具有藉由按壓因熱而軟化的部位來防止材料離散、並促進向旋轉方向的塑性流動的功能。

【0060】 銷形成為與肩部不連續的形狀而呈朝向被接合材（未圖示）大致垂直地突出的形狀。銷具有於接合時藉由在第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的軟化部向板厚中心方向侵入而提升板厚中心部附近的攪拌能力的功能。另外，銷通常位於肩部的中心。

【0061】 關於肩徑 D （mm），如上所述，使其滿足上列式（1）及式（2）的關係。另外，旋轉工具的針徑及針長度等並無特別限定，

依照常規方法適當設定即可。例如，當於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚不同的情況下進行對接接合時，只要考慮第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚的平均值來設定依照常規方法的旋轉工具的針徑及針長度等即可。另外，當對第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶進行搭接接合時，只要考慮第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚的合計值來設定依照常規方法的旋轉工具的針徑及針長度等即可。

【0062】 另外，如上所述，銷具有於接合時藉由在第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的軟化部向板厚中心方向侵入而提升板厚中心部附近的攪拌能力的功能。但是，於銷上會施加較肩部大的應力。關於該方面，於依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，藉由應用所謂的雙面摩擦攪拌接合作為接合方式，且同時滿足上列式（1）及式（2）的關係，攪拌能力進一步提高。因此，亦能夠使用無銷的旋轉工具。與有銷的旋轉工具相比，無銷的旋轉工具的耐久性優異。因此，就旋轉工具的耐久性 or 壽命延長、進而降低（基於旋轉工具的磨損或破損的）接合不良率的方面而言，較佳為使用無銷的旋轉工具。

【0063】 於圖 3～圖 5 中分別示出無銷的旋轉工具的例子。圖 3 是前端面為平面的無銷的旋轉工具（以下，亦稱為前端平面旋轉工具）的例子。圖 4 是前端面為凸型的曲面的無銷的旋轉工具（以下，亦稱為前端凸型旋轉工具）的例子。圖 5 是前端面為凹型的曲面的無銷的旋轉工具（以下，亦稱為前端凹型旋轉工具）的例

子。

【0064】 如圖 3～圖 5 所示，無銷的旋轉工具的前端部僅由肩部構成。即，無銷的旋轉工具的前端部不具有形成為與肩部不連續的形狀而朝向被接合材大致垂直地突出的部位（銷）。旋轉工具的前端面適宜設為例如如圖 3 般的平面、如圖 4 般的凸型的曲面、如圖 5 般的凹型的曲面。另外，與工具旋轉軸垂直的面上的前端部的形狀（將旋轉工具的前端面向與旋轉軸平行的方向投影時的投影區域）形成為圓形。

【0065】 於如圖 3 般的前端平面旋轉工具中，例如，與被接合材接觸的前端面包含與工具的旋轉軸垂直的一個平面。

【0066】 於如圖 4 般的前端凸型旋轉工具中，例如，與被接合材接觸的前端面形成為不具有銷的連續的形狀而成為大致均勻的傾斜面。更具體而言，前端面構成自外周朝向中心突出的一個曲面（拋物面、長球面或球面）。另外，如圖 4 般，前端面的剖面（包含旋轉軸且與旋轉軸平行的剖面）形狀成為大致均勻的曲率半徑的曲線。此外，關於曲面高度 dv （mm）與肩徑 D （mm），較佳為使其滿足下式（11）的關係。

$$dv/D \leq 0.06 \quad \cdots (11)$$

即，藉由使 dv/D 為 0.06 以下，當旋轉工具的前端部與被接合材接觸時，可對流動部更有效地施加壓力，從而可更有效地產

生塑性流動。另一方面，若 dv/D 超過 0.06，則接合部的表面及背面成為過度下凹的形狀，有時接合部的厚度相對於鋼帶的厚度會變小。於此種情況下，難以確保接頭強度，因此欠佳。再者， dv/D 的下限並無特別限定，但就對流動部更有效地施加壓力的觀點而言， dv/D 較佳為 0.01 以上。

【0067】於如圖 5 般的前端凹型旋轉工具中，與被接合材接觸的前端面形成為不具有銷的連續的形狀而成為大致均勻的傾斜面。更具體而言，前端面構成自外周朝向中心凹陷的一個曲面（拋物面、長球面或球面）。另外，如圖 5 般，前端面的剖面（包含旋轉軸且與旋轉軸平行的剖面）形狀成為大致均勻的曲率半徑的曲線。此外，關於曲面深度 dc (mm) 與肩徑 D (mm)，較佳為使其滿足下式 (12) 的關係。

$$dc/D \leq 0.03 \quad \dots (12)$$

即，藉由將 dc/D 設為 0.03 以下，於接合過程中，軟化的金屬充滿前端部的凹型的曲面內。藉此，當旋轉工具的前端部與被接合材接觸時，可對流動部更有效地施加壓力，從而可更有效地產生塑性流動。另一方面，若 dc/D 超過 0.03，則有時難以對流動部有效地施加壓力以產生充分的塑性流動而欠佳。再者， dc/D 的下限並無特別限定，但就對流動部更有效地施加壓力的觀點而言， dc/D 較佳為 0.01 以上。

【0068】 另外，就進一步促進材料流動的觀點而言，較佳為旋轉工具的前端面具有與旋轉為相反方向的旋渦狀（螺旋狀）的階差部。旋渦狀的階差部例如由如下的放射狀的曲線（旋渦）劃定：該放射狀的曲線（旋渦）以旋轉工具的前端面的中心、或如圖 6～圖 8 所示般以旋轉工具的前端面的中心圓的周緣為起點而延伸至旋轉工具的前端面的外周緣。旋轉工具的前端面的中心圓是以旋轉工具的前端面的中心為中心的任意直徑的圓。再者，於圖 6～圖 8 中，旋渦的數量均為 4 個。

【0069】 劃定階差部的旋渦的數量只要為 1 個以上即可。其中，若劃定階差部的旋渦的數量超過 6 個，則不僅促進材料流動的效果減弱，而且有因形狀的複雜化而變得容易破損之虞。因此，劃定階差部的旋渦的數量較佳設為 6 個以下。再者，圖 9～圖 13 分別示出劃定階差部的旋渦的數量為 2 個～6 個的情況下的例子。

【0070】 另外，就使材料流動提升、同時防止旋轉工具的前端部破損的觀點而言，劃定階差部的旋渦的數量較佳為根據肩徑來調節。例如，較佳為肩徑越大，則增加劃定階差部的旋渦的數量，肩徑越小，則減少劃定階差部的旋渦的數量。具體而言，於肩徑小於 6 mm 的情況下，較佳為將劃定階差部的旋渦的數量設為 2 個以下。另一方面，於肩徑為 6 mm 以上的情況下，較佳為將劃定階差部的旋渦的數量設為 3 個～6 個。

【0071】 於劃定階差部的旋渦為 2 個、且等間隔地配置旋渦的情況下，如圖 9 所示，分別描繪分別以點 A 及點 B 為起點、以線段

A—B 為半徑的半圓。繼而，分別描繪半徑為線段 A—B 的兩倍長度的半圓。繼而，分別描繪直徑為線段 A—B 的三倍長度的半圓。重覆進行以上操作，藉此可描繪出兩個等間隔的旋渦。

【0072】 在劃定階差部旋渦的數量 n 為 3 個～6 個，且將旋渦等間隔地配置的情況下，如圖 10～圖 13 所示，描繪正 n 邊形，以 n 邊形的各頂點為中心，描繪半徑與正 n 邊形的邊長相等的弧直至與邊的延長線相交的點。繼而，以之前頂點的相鄰頂點為中心，描繪半徑為正 n 邊形的邊長的兩倍的弧直至與下一邊的延長線相交的點。繼而，以之前頂點的相鄰頂點為中心，描繪半徑為正 n 邊形的邊長的三倍的弧直至與下一邊的延長線相交的點。重覆進行以上操作，藉此可描繪出 n 個等間隔的旋渦。

【0073】 再者，於圖 9～圖 13 的情況下，亦可將旋渦的數量設為 1 個。另外，於圖 9、圖 11 及圖 13 的情況下，亦可將旋渦的數量設為 2 個、且等間隔地形成旋渦。於圖 10 及圖 13 的情況下，亦可將旋渦的數量設為 3 個、且等間隔地形成旋渦。

【0074】 此外，每個旋渦的長度較佳設為前端面的周長的 0.5 周以上且 2 周以下。關於旋渦的長度，亦較佳為根據肩徑來調節。例如，較佳為肩徑越大，則延長旋渦的長度，肩徑越小，則縮短旋渦的長度。

【0075】 於前端凸型旋轉工具的一例中，如圖 14 所示，階差部藉由使旋渦間各個區域的高度位置以階梯狀變化而構成。例如，階差部藉由自前端面的中心朝向外周逐漸變低而構成。再者，於

前端凹型旋轉工具的情況下，階差部藉由自前端面的中心朝向外周逐漸變高而構成。以下，亦將此種階差部的形態稱為階梯狀。階差部的階數只要為一階以上即可。另外，於包含旋轉軸且與旋轉軸平行的剖面（圖 14 的剖面）中，各階差部只要形成為例如大致水平即可。

【0076】於前端凸型旋轉工具的另一例中，如圖 15 所示，階差部藉由在旋渦的位置設置較前端面凹陷的區域（以下，亦稱為槽部）而形成。藉此，形成自前端面中心朝向外周逐漸變低的階差部。再者，於前端凹型旋轉工具的情況下，形成自前端面的中心朝向外周逐漸變高的階差部。以下，亦將此種階差部的形態稱為槽狀。另外，作為槽部的剖面形狀，可例示 U 字形狀或 V 字形狀、ㄥ字形狀等。階差部的階數只要為一階以上即可。

【0077】於前端平面旋轉工具的一例中，如圖 16 所示，階差部藉由在旋渦的位置設置槽部而構成。作為槽部的形狀，可例示 U 字形狀或 V 字形狀、ㄥ字形狀等。階差部的階數只要為一階以上即可。

【0078】藉由設置如上所述的階差部，於利用旋轉工具對被接合材進行按壓及攪拌時，使因摩擦熱而軟化的金屬材料自旋轉工具的外側朝向內側流動。藉此，可抑制金屬材料向旋轉工具所按壓的按壓部的外側流出的情況。其結果，按壓部的塑性流動得到促進。另外，可防止接合部的厚度相對於母材而減少，且可形成無毛刺的美觀的接合部表面。

【0079】再者，旋轉工具的與前端部為相反側的基端部分只要可安裝於先前普遍使用的雙面摩擦攪拌接合裝置即可，該基端部分的形狀並無特別限制。

【0080】 [2]電磁鋼帶的接合接頭

接下來，使用圖 17 對電磁鋼帶的接合接頭進行說明。圖中，符號 1 為第一電磁鋼帶（被接合材），符號 2 為第二電磁鋼帶（被接合材），符號 4 為接合部，符號 4-1 為熱加工影響部（第一電磁鋼帶側），符號 4-2 為熱加工影響部（第二電磁鋼帶側）。再者，圖 17 是電磁鋼帶的接合接頭的板厚方向上的剖面圖。圖中，鉛垂方向為板厚方向。水平方向為接合垂直方向。紙面近前側的方向為接合方向。即，於圖 17 所示的面（此處提及的板厚方向上的剖面）內，包含接合垂直方向以及板厚方向。

【0081】 所述電磁鋼帶的接合接頭是：

一種將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合的電磁鋼帶的接合接頭，

所述電磁鋼帶的接合接頭包括接合部、以及與該接合部鄰接的熱加工影響部，

該接合部及該熱加工影響部的鋼組織分別為鐵氧體相主體的組織，且

滿足下式（3）～式（6）的關係。

$$Dsz \leq 200 \mu\text{m} \quad \cdots (3)$$

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \quad \dots (4)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \quad \dots (5)$$

$$0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \quad \dots (6)$$

此處，

D_{sz} 為接合部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{haz1} 為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{haz2} 為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

D_{bm2} 為第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

H_{sz} 為接合部的硬度的平均值，

H_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值，

H_{bm2} 為第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

另外，所述電磁鋼帶的接合接頭例如可藉由所述依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法而獲得（製造）。

【0082】 [被接合材（第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶）]

第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶是作為被接合材的電磁鋼帶。

第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的成分組成只要是作為冷軋階段的電磁鋼帶（電磁鋼板）而言普遍的組成，則並無特別限定。

【0083】 作為此種電磁鋼帶的成分組成，可例示以 2.0 質量%～5.0 質量%的範圍含有 Si 的成分組成。另外，可例示 C 為 0.005 質量%以下、Si 為 2.0 質量%～5.0 質量%、Al 為 3.0 質量%以下、Mn 為 2.00 質量%以下、P 為 0.2 質量%以下、S 為 0.01 質量%以下、及 N 為 0.01 質量%以下，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質的成分組成。再者，於所述成分組成中，可任意含有選自由以質量%計為 0.2%以下的 Sn、0.2%以下的 Sb、0.01%以下的 Ca、0.05%以下的稀土金屬（rare-earth metal，REM）、及 0.01%以下的 Mg 所組成的群組中的至少一種。進而，於所述成分組成中，可任意含有選自由以質量%計為 1%以下的 Cr、1%以下的 Ni、及 1%以下的 Cu 所組成的群組中的至少一種。再者，Si 及 Fe 以外的元素亦可均為 0%。

另外，第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的成分組成可相同，亦可不同。

【0084】 第一電磁鋼帶的板厚 t1 及第二電磁鋼帶的板厚 t2 並無特別限定，但 t1 及 t2 分別適宜為 1.2 mm～3.2 mm。再者，t1 與 t2 可相同，亦可不同。

【0085】 另外，於作為被接合材的第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶中，將未受到藉由摩擦熱與塑性流動進行的熱加工的影響的區域稱為母材部。

【0086】 另外，母材部、以及後述的接合部及熱加工影響部以如下方式劃定。

即，將電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為切斷面的方式沿板厚（鉛垂）方向切斷。繼而，對切斷面進行研磨，並利用苦味酸飽和水溶液、硝酸乙醇腐蝕液（nital）（硝酸與乙醇的溶液）或王水（將濃鹽酸與濃硝酸以 3：1 的體積比混合而成的溶液）進行蝕刻。繼而，利用光學顯微鏡對該切斷面進行觀察，並根據蝕刻的程度等，劃定母材部、以及接合部及熱加工影響部。

【0087】 [接合部]

接合部是受到藉由旋轉工具和被接合材的摩擦熱與塑性流動進行的熱加工而成為再結晶組織的區域。

【0088】 接合部包含鐵氧體相主體的鋼組織，具體而言包含以面積率計為 95% 以上的鐵氧體相。鐵氧體相的面積率亦可為 100%。另外，鐵氧體相以外的剩餘部分組織的面積率為 5% 以下。作為鐵氧體相以外的剩餘部分組織，例如可例示麻田散鐵、硫化物、氮化物或碳化物等第二相等。剩餘部分組織的面積率亦可為 0%。

【0089】 再者，鐵氧體相的面積率以如下方式測定。

即，以後述的接合部的測定區域被包含於觀察面中的方式，自電磁鋼帶的接合接頭切出試驗片。再者，觀察面設為圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）。繼而，對試驗片的觀察面進行研磨，然後利用 3 vol.% 硝酸乙醇腐蝕液、苦味酸

飽和水溶液或王水進行蝕刻，使組織顯現。繼而，於後述的接合部的測定區域內，利用光學顯微鏡以倍率：500 倍拍攝合計 10 個視野。繼而，根據所獲得的組織圖像，使用奧多比系統（Adobe Systems）公司的 Adobe Photoshop，計算 10 個視野的鐵氧體相的面積。繼而，針對每個視野算出的鐵氧體相的面積除以各自的視野區域的面積並乘以 100。然後，將該些值的算術平均值設為鐵氧體相的面積率。

【0090】 另外，重要的是使接合部的鋼組織微細化，具體而言為減小構成接合部的鋼組織的鐵氧體晶粒的粒徑（以下，亦稱為鐵氧體粒徑）以使其滿足下式（3）的關係。藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況得到有效抑制。

$$D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \quad \cdots (3)$$

此處，

D_{sz} 為接合部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）。

【0091】 此處， D_{sz} 依據日本工業標準（Japanese Industrial Standards，JIS）G 0551 來測定。具體而言，以如下方式測定。

即，將電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為切斷面的方式沿板厚（鉛垂）

方向切斷。於該切斷面中，將接合垂直方向設為 X 軸，將板厚方向設為 Y 軸。而且，將接合垂直方向上的接合部的中心位置、且為板厚（鉛垂）方向上的被接合材的板厚中心位置設為 X 軸與 Y 軸的原點。關於接合垂直方向上的接合部的中心位置，例如於對接接頭的情況下為對接縫隙的中心位置，於搭接接頭的情況下為重疊部的中心位置。關於板厚（鉛垂）方向上的被接合材的板厚中心位置，例如於對接接頭的情況下為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中板厚較小的一者的板厚中心位置，於搭接接頭的情況下為重疊部的板厚中心位置。而且，將 $X=-0.2\times t\sim +0.2\times t$ 、 $Y=-0.2\times t\sim +0.2\times t$ 的區域設為測定區域。此處，t 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值（mm）。其中，於所述測定區域中包含熱加工影響部或母材部等非接合部的區域的情況下，將該區域自測定區域中去除。再者，關於 X 軸及 Y 軸，任意設定+及-即可。

然後，於所述測定區域內的任意位置，藉由依據 JIS G 0551「鋼-結晶粒度的顯微鏡試驗方法」的切斷法（利用每 1 mm 試驗線中捕捉到的晶粒數或交點的數量 P 進行評價），進行共計 5 次接合部的鐵氧體粒徑的測定，將該些的平均值設為 D_{sz} 。再者，以下亦將接合部的鐵氧體粒徑的測定區域簡稱為接合部的測定區域。

【0092】 另外，重要的是降低接合部與母材部的硬度差，具體而言是使其滿足下式（6）的關係。藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況得

到有效抑制。

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

(6)

此處，

H_{sz} 為接合部的硬度的平均值，

H_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值，

H_{bm2} 為第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

【0093】 此處， H_{sz} 、 H_{bm1} 及 H_{bm2} 依據 JIS Z 2244 來測定。具體而言，分別以如下方式測定。

即，於所述切斷面中的所述接合部的測定區域內的任意 5 處，於試驗力：4.9 N 的條件下測定維氏硬度（HV）。然後，將該些的平均值設為 H_{sz} 。

另外，於所述切斷面中，於第一電磁鋼帶的母材部的板厚中心位置 $\pm 0.2 \times t_1$ 的區域（板厚（鉛垂）方向的水平面（level））內、及第二電磁鋼帶的母材部的板厚中心位置 $\pm 0.2 \times t_2$ 的區域（板厚（鉛垂）方向的水平面）內的任意 5 處，分別於試驗力：4.9 N 的條件下測定維氏硬度（HV）。再者，關於接合垂直（水平）方向上的位置，只要是母材部即可，可任意選擇。然後，將於第一電磁鋼帶的母材部及第二電磁鋼帶的母材部測定出的維氏硬度（HV）的平均值分別設為 H_{bm1} 及 H_{bm2} 。此處， t_1 及 t_2 分別為第一電磁

鋼帶及第二電磁鋼帶的板厚。

【0094】 另外，接合部的厚度並無特別限定，但較佳為對其與第一電磁鋼帶和第二電磁鋼帶的厚度的關係進行適當控制，具體而言是使其滿足下式（7）及式（8）的關係。藉此，即便為使用電磁鋼帶作為被接合材的情況，亦不會導致卷材接合部的形狀劣化，卷材接合部的機械特性進一步提高，在生產線上發生卷材接合部的斷裂的情況進一步得到有效抑制。

$$0.8 \times T_{bmL} \leq T_{szL} \quad \cdots (7)$$

$$T_{szH} \leq 1.3 \times T_{bmH} \quad \cdots (8)$$

此處，

T_{szL} 為接合部的厚度的最小值（mm），

T_{szH} 為接合部的厚度的最大值（mm），

T_{bmL} 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較薄的電磁鋼帶的板厚（mm），

T_{bmH} 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較厚的電磁鋼帶的板厚（mm）。

其中，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚相同的情況下，為 $T_{bmL} = T_{bmH}$ 。

【0095】 再者， T_{szL} 及 T_{szH} 例如以如下方式測定即可。即，將電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及

板厚方向的面) 成為切斷面的方式沿板厚(鉛垂)方向切斷。然後，於該切斷面上，使用滑動卡尺等測定 T_{szL} 及 T_{szH} 。

【0096】 [熱加工影響部]

熱加工影響部為如下區域：該區域與接合部鄰接，且雖然會受到藉由摩擦熱與塑性流動進行的熱加工的影響，但因溫度或加工不充分而未成為再結晶組織。另外，熱加工影響部與接合部鄰接地形成於第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的兩側。

【0097】 熱加工影響部與接合部同樣地包含鐵氧體相主體的鋼組織，具體而言包含以面積率計為 95%以上的鐵氧體相。鐵氧體相的面積率亦可為 100%。另外，鐵氧體相以外的剩餘部分組織的面積率為 5%以下。作為鐵氧體相以外的剩餘部分組織，例如可例示麻田散鐵、硫化物、氮化物或碳化物等第二相等。剩餘部分組織的面積率亦可為 0%。鐵氧體相的面積率按照與上述方法相同的要領來測定即可。

【0098】 另外，於熱加工影響部中，重要的同樣是使鋼組織微細化，具體而言是使熱加工影響部的鐵氧體粒徑成為母材部的鐵氧體粒徑以下，即，使其滿足下式(4)及式(5)的關係。

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \quad \cdots (4)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \quad \cdots (5)$$

此處，

Dhaz1 為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

Dhaz2 為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

Dbm1 為第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)，

Dbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值 (μm)。

【0099】 此處，Dhaz1、Dhaz2、Dbm1 及 Dbm2 依據 JIS G 0551，按照與接合部的鐵氧體粒徑的平均值即 Dsz 相同的要領來測定。

另外，第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的測定區域（以下，亦稱為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的測定區域）以如下方式設定。即，將電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為切斷面的方式沿板厚（鉛垂）方向切斷。於所述切斷面中，將接合垂直方向設為 X 軸，將板厚方向設為 Y 軸。而且，將第一電磁鋼帶的板厚中心位置（水準）處的接合部與第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的邊界位置設為 X 軸與 Y 軸的原點。關於 X 軸，將第一電磁鋼帶側設為+，將接合部側設為-，將 $X=0 \sim +0.4 \times t1$ 、 $Y=-0.2 \times t1 \sim +0.2 \times t1$ 的區域設為測定區域。此處， $t1$ 為第一電磁鋼帶的板厚。再者，關於 Y 軸，任意設定+及-即可。其中，於所述測定區域中包含接合部或母材部等非第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的區域的情況

下，將該區域自測定區域中去除。

如上所述，接合部是指受到藉由旋轉工具和被接合材的摩擦熱與塑性流動進行的熱加工而成為再結晶組織的區域。熱加工影響部是指與接合部鄰接，且雖然會受到藉由摩擦熱與塑性流動進行的熱加工的影響，但因溫度或加工不充分而成為未達再結晶的組織的區域。母材是指不受藉由摩擦熱與塑性流動進行的熱加工的影響的區域。

【0100】 同樣，第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的測定區域（以下，亦稱為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的測定區域）以如下方式設定。即，將電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為切斷面的方式沿板厚（鉛垂）方向切斷。於所述切斷面中，將接合垂直方向設為 X 軸，將板厚方向設為 Y 軸。而且，將第二電磁鋼帶的板厚中心位置（水準）處的接合部與第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的邊界位置設為 X 軸與 Y 軸的原點。關於 X 軸，將第二電磁鋼帶側設為+，將接合部側設為-，將 $X=0 \sim +0.4 \times t_2$ 、 $Y=-0.2 \times t_2 \sim +0.2 \times t_2$ 的區域設為測定區域。此處， t_2 為第二電磁鋼帶的板厚。再者，關於 Y 軸，任意設定+及-即可。其中，於所述測定區域中包含接合部或母材部等非第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的區域的情況下，將該區域自測定區域中去除。

【0101】 另外，第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的測定區域（以下，亦稱為第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的

母材部的測定區域)分別設為所述切斷面中的第一電磁鋼帶的母材部的板厚中心位置 $\pm 0.2 \times t_1$ 的區域(板厚(鉛垂)方向的水平面)及第二電磁鋼帶的母材部的板厚中心位置 $\pm 0.2 \times t_2$ 的區域(板厚(鉛垂)方向的水平面)即可。再者,關於接合垂直(水平)方向上的位置,只要是母材部即可,可任意選擇。此處, t_1 及 t_2 分別為第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶的板厚。

【0102】 再者,作為接頭形式,可例示對接接頭或搭接接頭。

【0103】 [3]電磁鋼帶的製造方法

接下來,對依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的製造方法進行說明。

依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的製造方法包括:

藉由所述依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法,將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合而獲得接合鋼帶的步驟;以及

對所述接合鋼帶實施冷軋而獲得電磁鋼帶(冷軋鋼帶)的步驟。

此處,接合鋼帶適宜的是具有第一電磁鋼帶、第二電磁鋼帶、以及所述依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的接合接頭,且第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶已經由所述依照本發明一實施形態的電磁鋼帶的接合接頭接合。

另外,關於冷軋條件並無特別限定,依照常規方法即可。另外,亦可於進行冷軋之前任意地進行酸洗。

[實施例]

【0104】 以下，使用實施例對本發明的作用及效果進行說明。再者，本發明並不限定於以下的實施例。

【0105】 · 實施例 1

將具有表 1 所示的成分組成(剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質)的電磁鋼帶作為被接合材(第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶)。而且，藉由表 2 中記載的條件的雙面摩擦攪拌接合，模擬處於連續冷軋線上的情況而將第一電磁鋼帶(先行鋼帶)與第二電磁鋼帶(後行鋼帶)接合，製造出電磁鋼帶的接合接頭。此處，坡口設為於作為被接合材的 2 片電磁鋼帶的端面不附加坡口角度的所謂 I 型坡口，於銑削加工程度的表面狀態下對 2 片電磁鋼帶進行了對接、接合。後述的表 3 及表 4 的情況亦同樣如此。再者，於表 1 中一併記載了電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值、硬度的平均值及愛理遜(Erichsen)值。此處，電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值及硬度的平均值藉由上述方法來求出。另外，愛理遜值是依據 JIS Z 2247 中規定的愛理遜試驗方法測定的值。再者，關於未明確記載的條件，依照常規方法進行了設定。

【0106】 於所述雙面摩擦攪拌接合中，如圖 1C 般，使配置於鉛垂方向上側的表面側旋轉工具的旋轉方向自鉛垂方向上側觀察時順時針旋轉，使配置於鉛垂方向下側的背面側旋轉工具自鉛垂方向上側觀察時逆時針旋轉。即，於正視各個旋轉工具的前端部的狀態下，各個旋轉工具均逆時針旋轉。另外，使用了圖 2A 及圖

2B 中所示的兩種剖面尺寸及形狀的旋轉工具中的任一者。再者，表面側旋轉工具與背面側旋轉工具使用了相同剖面尺寸及形狀的旋轉工具。再者，該些旋轉工具均以較被接合材硬的、維氏硬度 HV1090 的碳化鎢（WC）為原材料。另外，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚不同的情況下，第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的對接部中將背面（配置背面側旋轉工具之側的面）設為無階差的狀態，將表面（配置表面側旋轉工具之側的面）設為有階差的狀態。

【0107】 另外，為了進行比較，對於表 3 中記載的被接合材（第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶），藉由表 3 記載的條件的所謂單面摩擦攪拌接合，將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合，製造出電磁鋼帶的接合接頭。於圖 18A 及圖 18B 中示出藉由單面摩擦攪拌接合方法進行的對接接合的一例。圖 18A 是側面立體圖，圖 18B 是圖 18A 的 A-A 箭視圖。另外，於圖 19A 及圖 19B 中示出單面摩擦攪拌接合方法中使用的旋轉工具的形狀。

【0108】 此處，如圖 18A 般，使旋轉工具自鉛垂方向上側觀察時順時針（於正視旋轉工具的前端部的狀態下為逆時針）旋轉。另外，使用了圖 19A 及圖 19B 中所示的兩種剖面尺寸及形狀的旋轉工具中的任一者。再者，該些旋轉工具均以較被接合材硬的、維氏硬度 HV1090 的碳化鎢（WC）為原材料。另外，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚不同的情況下，第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的對接部中將背面（壓盤側的面）設為無階差的狀態，將

表面（配置旋轉工具之側的面）設為有階差的狀態。

【0109】 同樣地，為了進行比較，對於表 4 中記載的被接合材（第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶），藉由表 4 記載的條件的雷射焊接，將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合，製造出電磁鋼帶的接合接頭。

【0110】 於雷射焊接中，使用了最大功率 5.5 kW 的 CO₂ 雷射振盪器。保護氣體（shield gas）使用了氦，且保護氣體流量設為 40 升/分鐘。表 4 中的「填充焊絲添加」為「無」者於不使用填充焊絲的情況下進行了焊接。另外，表 4 中的「填充焊絲添加」為「有」者使用具有表 5 所示的成分組成（剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質）的金屬極鈍氣（metal inert gas，MIG）用焊絲（0.9 mmφ）作為填充焊絲進行了焊接。

【0111】 針對如此般獲得的電磁鋼帶的接合接頭，利用所述要領，劃定了接合部、熱加工影響部及母材部。

另外，利用所述要領，測定了

Dsz：接合部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dhaz1：第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dhaz2：第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dbm1：第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dbm2：第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Hsz：接合部的硬度的平均值、

Hbm1：第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值、

Hbm2：第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

進而，將所獲得的電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為切斷面的方式沿板厚（鉛垂）方向切斷，並於該切斷面上，測定了 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）。

再者，於藉由雷射焊接而獲得的電磁鋼帶的接合接頭中，將焊接部視為接合部、將熱影響部視為熱加工影響部來進行所述測定。測定要領等與藉由摩擦攪拌接合而獲得的電磁鋼帶的接合接頭的情況相同。

將結果示於表 6～表 8 中。再者，當於後述的表面缺陷及內部缺陷的確認中確認到缺陷的情況下，省略了所述測定。另外，於確認到表面缺陷的情況下，亦省略了內部缺陷的確認。

【0112】 另外，針對所獲得的電磁鋼帶的接合接頭，按照以下要領，對（I）表面缺陷的有無及（II）內部缺陷的有無進行了確認。將結果示於表 9 中。

【0113】 （I）表面缺陷的有無

於所獲得的電磁鋼帶的接合接頭的接合部及熱加工影響部（於雷射焊接的情況下為焊接部及熱影響部）的表面及背面，藉由目視確認未接合狀態及裂紋的有無。而且，利用以下基準對表面缺陷的有無進行了判定。

無表面缺陷：未確認到未接合狀態及裂紋中的任一者。

有表面缺陷：確認到未接合狀態及裂紋中的至少一者。

【0114】 (II) 内部缺陷の有無

將所獲得的電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為觀察面的方式沿板厚（鉛垂）方向切斷而採取試驗片。再者，接合方向上的切斷位置設為距接合（焊接）開始側的被接合材的端部為 20 mm 的位置、距接合（焊接）結束側的被接合材的端部為 20 mm 的位置、及作為被接合材的兩端部的中間的位置，並以該切斷位置處的切斷面成為觀察面的方式採取了合計 3 片試驗片。繼而，利用光學顯微鏡（倍率：10 倍）對所獲得的試驗片的觀察面進行了觀察。而且，利用以下基準對内部缺陷の有無進行了判定。

無内部缺陷：於全部 3 片試驗片中，於接合部未確認到未接合狀態及裂紋中的任一者。

有内部缺陷：於至少一片試驗片中，於接合部確認到未接合狀態及裂紋中的至少一者。

【0115】 另外，針對所獲得的電磁鋼帶的接合接頭，按照以下要領評價了對生產線上發生的卷材接合部的斷裂的抑制效果（以下，亦稱為斷裂抑制效果）。

【0116】 即，自所獲得的電磁鋼帶的接合接頭，以包含接合部、第一電磁鋼帶側的熱加工影響部及母材以及第二電磁鋼帶側的熱加工影響部及母材的方式採取試驗片。繼而，使用所採取的試驗

片，依據 JIS Z 2247 中規定的愛理遜試驗方法測定接合接頭的愛理遜值。而且，根據接合接頭的愛理遜值相對於母材部的愛理遜值的比率（以下，亦稱為愛理遜值的比率），利用以下的基準對斷裂抑制效果進行了評價。將結果示於表 9 中。

[愛理遜值的比率(%)]=[接合接頭的愛理遜值]/[母材部的愛理遜值]×100

○（合格）：愛理遜值的比率為 80%以上

×（不合格）：愛理遜值的比率小於 80%

再者，於第一電磁鋼帶的母材部的愛理遜值與第二電磁鋼帶的母材部的愛理遜值不同的情況下，母材部的愛理遜值為第一電磁鋼帶的母材部的愛理遜值與第二電磁鋼帶的母材部的愛理遜值中較小一者的值。

【0117】 [表 1]

表 1

鋼種	板厚 (mm)	成分組成 (質量%)					母材部的 鐵氧體粒徑 平均值 (μm)	母材部的 硬度的平均值	母材部的 愛理遜值 (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

【0118】 [表 2]

表 2

接頭形式	接合方式	被接合材				旋轉工具				接合條件				(1) 式	(2) 式	(9) 式	(10) 式				
		第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶		針長 度 (mm)	針 徑 (mm)	肩 徑 (mm)	形 狀	傾斜 角 度 α ($^{\circ}$)	肩 部 間 隙 G (mm)	轉 速 (次/分 鐘)						接 合 速 度 JS (mm/分 鐘)	RS \times D ³ /JS		
		鋼 種	板 厚 t1 (mm)	鋼 種	板 厚 t2 (mm)							表 面	背 面								
發明例 1	對接	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	圖 2A	13	4	0.6	1.5	1.20	1000	1000	2000	1099	○	○	○	○
發明例 2	對接	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	圖 2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	800	800	2000	3704	○	○	○	○
發明例 3	對接	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	圖 2A	13	4	0.6	1.5	1.20	300	300	1000	659	○	○	○	○
發明例 4	對接	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	圖 2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	550	550	1000	5094	○	○	○	○
發明例 5	對接	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	圖 2A	13	4	0.6	1.5	1.20	1500	1500	3000	1099	○	○	○	○
發明例 6	對接	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	圖 2B	21	6.7	0.9	1.5	1.50	1200	1200	3000	3704	○	○	○	○
發明例 7	對接	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	圖 2A	13	4	0.6	1.5	1.70	1000	1000	2000	1099	○	○	○	○
發明例 8	對接	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	圖 2B	21	6.7	0.9	1.5	1.30	800	800	2000	3704	○	○	○	○
發明例 9	對接	B2-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	圖 2A	13	4	0.6	0.5	0.95	1000	1000	2000	1099	○	○	○	×
發明例 10	對接	B2-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	圖 2B	21	6.7	0.9	2.5	1.15	800	800	2000	3704	○	○	○	×
比較例 1	對接	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	圖 2B	<u>21</u>	6.7	0.9	2	1.20	500	500	1000	<u>4631</u>	×	×	○	○
比較例 2	對接	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	圖 2A	13	4	0.6	2	1.50	200	200	1000	<u>439</u>	○	×	○	○
比較例 3	對接	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	圖 2A	13	4	0.6	0	1.90	500	500	3000	<u>366</u>	○	×	×	×
比較例 4	對接	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	圖 2B	21	6.7	0.9	3.5	1.10	800	800	1000	<u>7409</u>	○	×	×	×

○滿足該式的關係

×不滿足該式的關係

【0119】 [表 3]

表 3

接頭形式	接合方式	被接台材				旋轉工具				接合條件										
		第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶		鋼種	板厚 t1 (mm)	鋼種	板厚 t2 (mm)	t (mm)	TJ (mm)	形狀	肩徑 D (mm)	針徑 (mm)	針長度 (mm)	傾斜角度 α (°)	壓入深度 (mm)	轉速 RS (次/分鐘)	接合速度 JS (mm/分鐘)	RS×D ³ /JS
		鋼種	板厚 t1 (mm)	鋼種	板厚 t2 (mm)															
比較例 5	對接	B2-1	2.0	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	2.0	圖 19A	13	4	1.8	3	1.90	1000	1000	2197	
比較例 6	對接	B2-2	2.6	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	2.6	圖 19B	21	6.7	2.4	3	2.50	2000	1000	18522	

【0120】 [表 4]

表 4

比較例	接頭形式	接合方式	被接合材				接合條件					填充焊絲添加		
			第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶		TJ (mm)	電磁鋼帶間 縫隙 (mm)	雷射功率 (kW)	雷射束直徑 (mm)	焊接速度 (mm/分 鐘)	有無	焊絲 供給速度 (m/分鐘)	
			鋼種	板厚 t1 (mm)	鋼種	板厚 t2 (mm)								t (mm)
比較例 7	對接	雷射	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	0	2.5	0.5	1500	無	-
比較例 8	對接	雷射	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	0	3.0	0.5	1250	無	-
比較例 9	對接	雷射	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	0	2.5	0.5	1500	無	-
比較例 10	對接	雷射	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	0	3.0	0.5	1250	無	-
比較例 11	對接	雷射	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	2.0	0.3	5.0	0.5	1300	有	3.0
比較例 12	對接	雷射	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	2.6	0.3	5.0	0.5	1000	有	3.0
比較例 13	對接	雷射	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	0.3	5.0	0.5	1300	有	3.0
比較例 14	對接	雷射	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	0.3	5.0	0.5	1000	有	3.0
比較例 15	對接	雷射	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	2.0	0.3	5.0	0.5	1300	有	3.0
比較例 16	對接	雷射	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	2.6	0.3	5.0	0.5	1000	有	3.0

【0121】 [表 5]

表 5

記號	成分組成 (質量%)										
	C	Si	Mn	Al	Ti	Ni	Cr	Mo	Nb+Ta	剩餘部分	
F1	0.02	0.29	0.07	0.15	0.17	61.3	22.2	9.2	3.51	Fe 及雜質	

【0122】 [表 6]

表 6

	接頭形式	接合方法	被接材										接合部				熱加工影響部				
			第一電磁鋼帶			第二電磁鋼帶			鐵氧體相面積率 (%)	Dsz (μm)	Hsz (mm)	TszL (mm)	TszH (mm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz1 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz2 (μm)				
			鋼種	Dbm1 (μm)	Hbm1 (mm)	板厚 (mm)	鋼種	Dbm2 (μm)										Hbm2 (mm)	板厚 (mm)	TbmL (mm)	TbmH (mm)
發明例 1	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	77	234	1.9	2.0	100	190	100	205
發明例 2	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	99	230	2.5	2.7	100	217	100	210
發明例 3	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	50	272	1.8	2.0	100	192	100	197
發明例 4	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	181	248	2.3	2.8	100	253	100	257
發明例 5	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	79	248	1.8	2.2	100	203	100	223
發明例 6	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	98	244	2.5	2.8	100	218	100	235
發明例 7	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	103	229	2.0	2.0	100	198	100	196
發明例 8	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	105	256	2.3	2.6	100	221	100	223
發明例 9	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	242	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	80	247	1.5	1.9	100	225	100	205
發明例 10	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	242	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	108	242	1.9	2.6	100	237	100	220
比較例 1	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 2	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 3	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 4	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	250	201	1.9	2.6	100	250	100	290

【0123】 [表 7]

表 7

接頭形式	接合方法	被接合材								接合部				熱加工影響部				
		第一電磁鋼帶				第二電磁鋼帶				鐵氧體相面積率 (%)	Dsz (μm)	Hsz (mm)	TszL (mm)	TszH (mm)	第一電磁鋼帶側		第二電磁鋼帶側	
		鋼種	Dbm1 (μm)	Hbm1 (mm)	板厚 (mm)	鋼種	Dbm2 (μm)	Hbm2 (mm)	板厚 (mm)						TbmL (mm)	TbmH (mm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz1 (μm)
比較例 5	對接	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-
比較例 6	對接	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	-	-	-	-	-	-	-

【0124】 [表 8]

表 8

接頭形式	接合方式	被接合材								接合部				熱加工影響部						
		第一電磁鋼帶				第二電磁鋼帶				鐵氧體相面積率 (%)	Dsz (μm)	Hsz	TszL (mm)	TszH (mm)	第一電磁鋼帶側		第二電磁鋼帶側			
		鋼種	Dbm1 (μm)	Hbm1	板厚 (mm)	鋼種	Dbm2 (μm)	Hbm2	板厚 (mm)						TbmL (mm)	TbmH (mm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz1 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz2 (μm)
比較例 7	對接	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	100	410	218	1.9	2.2	100	310	100	327
比較例 8	對接	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	100	453	215	2.6	2.7	100	326	100	321
比較例 9	對接	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	100	437	240	2.0	2.1	100	351	100	346
比較例 10	對接	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	100	440	238	2.5	2.8	100	367	100	372
比較例 11	對接	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	43	23	271	2.0	2.7	100	338	100	362
比較例 12	對接	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	40	31	265	2.6	3.5	100	359	100	355
比較例 13	對接	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	49	19	283	2.0	2.5	100	388	100	395
比較例 14	對接	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	46	28	278	2.6	3.5	100	399	100	413
比較例 15	對接	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	45	25	276	2.0	2.5	100	352	100	392
比較例 16	對接	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	48	21	281	2.6	3.3	100	377	100	401

【0125】 [表 9]

表 9

	(3) 式	(4) 式	(5) 式	(6) 式	(7) 式	(8) 式	表面 缺陷	內部 缺陷	接合接頭的 愛理遜值 (mm)	愛理遜值的 比率 (%)
發明例 1	○	○	○	○	○	○	無	無	12.6	102
發明例 2	○	○	○	○	○	○	無	無	13.4	99
發明例 3	○	○	○	○	○	○	無	無	3.3	94
發明例 4	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84
發明例 5	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	89
發明例 6	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84
發明例 7	○	○	○	○	○	○	無	無	11.1	90
發明例 8	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84
發明例 9	○	○	○	○	×	○	無	無	2.8	80
發明例 10	○	○	○	○	×	○	無	無	3.1	82
比較例 1	-	-	-	-	-	-	有	-	-	-
比較例 2	-	-	-	-	-	-	無	有	-	-
比較例 3	-	-	-	-	-	-	有	有	-	-
比較例 4	×	○	○	×	×	○	無	無	2.5	66
比較例 5	-	-	-	-	-	-	有	-	-	-
比較例 6	-	-	-	-	-	-	有	-	-	-
比較例 7	×	×	×	○	○	○	無	無	9.5	77
比較例 8	×	×	×	○	○	○	無	無	10.0	74
比較例 9	×	×	×	○	○	○	無	無	1.1	31
比較例 10	×	×	×	○	○	○	無	無	2.3	61
比較例 11	○	×	×	×	○	×	無	無	9.8	79
比較例 12	○	×	×	×	○	×	無	無	9.7	72
比較例 13	○	×	×	○	○	○	無	無	2.5	71
比較例 14	○	×	×	○	○	×	無	無	2.2	58
比較例 15	○	×	×	○	○	○	無	無	2.3	66
比較例 16	○	×	×	×	○	○	無	無	2.6	68

○滿足該式的關係

×不滿足該式的關係

【0126】 根據表 9，於發明例中，均進行了接合速度為 1000 mm/分鐘以上的高效率的接合，同時獲得了無缺陷、具有優異的斷裂抑制效果的電磁鋼帶的接合接頭。

另一方面，於比較例中產生了缺陷、或者未獲得充分的斷裂抑制效果。

【0127】 · 實施例 2

將具有表 1 所示的成分組成(剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質)的電磁鋼帶作為被接合材(第一電磁鋼帶及第二電磁鋼帶)。而且，藉由表 10 及表 11 中記載的條件的雙面摩擦攪拌接合，模擬處於連續冷軋線上的情況而將第一電磁鋼帶(先行鋼帶)與第二電磁鋼帶(後行鋼帶)接合，製造出電磁鋼帶的接合接頭。此處，坡口設為於作為被接合材的 2 片電磁鋼帶的端面不附加坡口角度的所謂 I 型坡口，於銑削加工程度的表面狀態下對 2 片電磁鋼帶進行了對接、接合。再者，關於未明確記載的條件，依照常規方法進行了設定。

【0128】 於所述雙面摩擦攪拌接合中，如圖 1A 般，使配置於鉛垂方向上側的表面側旋轉工具的旋轉方向自鉛垂方向上側觀察時順時針旋轉，使配置於鉛垂方向下側的背面側旋轉工具自鉛垂方向上側觀察時逆時針旋轉。即，於正視各個旋轉工具的前端部的狀態下，各個旋轉工具均逆時針旋轉。另外，使用了圖 2A、圖 2B ~ 圖 8 中所示的形狀的旋轉工具中的任一者。另外，表面側旋轉

工具與背面側旋轉工具使用了相同剖面尺寸及形狀的旋轉工具。再者，該些旋轉工具均以較被接合材硬的、維氏硬度 HV1090 的碳化鎢（WC）為原材料。另外，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚不同的情況下，第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的對接部中將背面（配置背面側旋轉工具之側的面）設為無階差的狀態，將表面（配置表面側旋轉工具之側的面）設為有階差的狀態。

【0129】 針對如此般獲得的電磁鋼帶的接合接頭，利用所述要領，劃定了接合部、熱加工影響部及母材部。

另外，利用所述要領，測定了

Dsz：接合部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dhaz1：第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dhaz2：第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dbm1：第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Dbm2：第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ）、

Hsz：接合部的硬度的平均值、

Hbm1：第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值、

Hbm2：第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

進而，將所獲得的電磁鋼帶的接合接頭以圖 17 所示的面（即，包含接合垂直方向以及板厚方向的面）成為切斷面的方式沿板厚（鉛垂）方向切斷，並於該切斷面上，測定了 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)。

將結果示於表 12 及表 13 中。再者，當於後述的表面缺陷及內部缺陷的確認中確認到缺陷的情況下，省略了所述測定。另外，於確認到表面缺陷的情況下，亦省略了內部缺陷的確認。

【0130】 另外，針對所獲得的電磁鋼帶的接合接頭，按照與實施例 1 相同的要領，對 (I) 表面缺陷的有無及 (II) 內部缺陷的有無進行了確認。將結果示於表 14 及表 15 中。

【0131】 另外，針對所獲得的電磁鋼帶的接合接頭，按照與實施例 1 相同的要領，評價了對生產線上發生的卷材接合部的斷裂的抑制效果 (以下，亦稱為斷裂抑制效果)。將結果示於表 14 及表 15 中。

【0132】 另外，按照以下要領進行了旋轉工具的耐久性的評價。

即，若產生旋轉工具的破損或磨損，則因內部缺陷發生接合不良的概率高。因此，於與上述相同的條件下重覆進行接合長度分別為 0.5 m 的接合，針對所獲得的接合接頭，藉由所述「(II) 內部缺陷的有無」中所示的判定方法，對內部缺陷的有無進行了判定。

而且，利用被判定為無內部缺陷的接頭的數量維持整體的 90% 以上時的最大接合次數 (以下，亦稱為 90% 維持最大接合次數)，進行了旋轉工具的耐久性的評價。將結果示於表 14 及表 15 中。再者，於 90% 維持最大接合次數為 15 次以上的情況下，可謂旋轉工具的耐久性 (壽命) 優異。

【0133】 此處，所謂 90%維持最大接合次數，是指當按照接合順序對所獲得的接合接頭的內部缺陷的有無進行確認且將對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭的數量設為 N 時，滿足下式 (a) 的最大的 N 的值。

[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭中判定為無內部缺陷的接合接頭的數量]÷[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭的數量 N]×100≥90 …式 (a)

【0134】 例如，於第 1 次～第 4 次的接合中所獲得的接合接頭中判定為無內部缺陷、第 5 次的接合中所獲得的接合接頭中判定為有內部缺陷的情況下，

當 $N=4$ 時，

[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭中無內部缺陷的接合接頭的合計數]÷[對內部缺陷進行了確認的接合接頭的數量 N]×100
 $=4÷4×100=100≥90$ ，

當 $N=5$ 時，

[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭中無內部缺陷的

接合接頭的合計數] \div [對內部缺陷進行了確認的接合接頭的數量
N] \times 100

$$=4\div 5\times 100=80 < 90。$$

即，於該情況下，至 N=4 為止滿足式 (a)，且於 N=5 時開始不滿足式 (a)，因此 90%維持最大接合次數為 4。

【0135】 另外，於第 1 次～第 10 次及第 12 次～第 19 次的接合中所獲得的接合接頭中判定為無內部缺陷，第 11 次、第 20 次及第 21 次的接合中所獲得的接合接頭中判定為有內部缺陷的情況下，

當 N=11 時，

[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭中無內部缺陷的接合接頭的合計數] \div [對內部缺陷進行了確認的接合接頭的數量
N] \times 100

$$=10\div 11\times 100\approx 90.9 \geq 90，$$

當 N=20 時，

[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭中無內部缺陷的接合接頭的合計數] \div [對內部缺陷進行了確認的接合接頭的數量
N] \times 100

$$=18 \div 20 \times 100 = 90 \geq 90 ,$$

當 $N=21$ 時，

$$\begin{aligned} & \text{[對內部缺陷的有無進行了確認的接合接頭中無內部缺陷的} \\ & \text{接合接頭的合計數]} \div \text{[對內部缺陷進行了確認的接合接頭的數量} \\ & \text{N]} \times 100 \\ & = 18 \div 21 \times 100 = 85.7 < 90 。 \end{aligned}$$

即，於該情況下，至 $N=20$ 為止滿足式 (a)，且於 $N=21$ 時開始不滿足式 (a)，因此 90%維持最大接合次數為 20。

【0136】 再者，關於在所述 (I) 表面缺陷的有無或 (II) 內部缺陷的有無中判定為有缺陷者，90%維持最大接合次數為 0。

【0137】 [表 10]

表 10

接頭形式	被接合材				旋轉工具						接合條件				(1)式(2)式(10)式		
	第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶		形狀	肩徑 D (mm)	dv 或 dc (mm)	dv/D 或 dc/D (mm)	階差部形態	傾斜角度 α (°)	肩部間隙 G (mm)	轉速		接合速度 JS (mm/分鐘)		RS×D ³ /JS	
	鋼種	板厚 t1 (mm)	鋼種	板厚 t2 (mm)								RS (次/分鐘)	表面側				背面側
發明例 1	B1-1	2.0	B1-1	2.0	圖 8	9	0.2	0.022	階梯狀	0	1.20	2000	2000	2000	729	○	○
發明例 2	B1-1	2.0	B1-1	2.0	圖 8	13	0.3	0.023	槽狀	0	1.40	1000	1000	2000	1099	○	○
發明例 3	B1-2	2.6	B1-2	2.6	圖 8	21	0.3	0.014	槽狀	0	1.80	800	800	2000	3704	○	○
發明例 4	B2-1	2.0	B2-1	2.0	圖 5	9	0.2	0.022	-	0	1.10	800	800	1000	583	○	○
發明例 5	B2-2	2.6	B2-2	2.6	圖 5	13	0.3	0.023	-	0	1.80	800	800	1000	1758	○	○
發明例 6	B2-2	2.6	B2-2	2.6	圖 5	21	0.3	0.014	-	0	2.20	1500	1500	3000	4631	○	○
發明例 7	B1-1	2.0	B2-1	2.0	圖 6	9	-	-	階梯狀	0	1.20	3000	3000	3000	729	○	○
發明例 8	B2-1	2.0	B1-1	2.0	圖 6	13	-	-	槽狀	0	1.40	1500	1500	3000	1099	○	○
發明例 9	B1-2	2.6	B2-2	2.6	圖 6	21	-	-	槽狀	0	1.80	1200	1200	3000	3704	○	○
發明例 10	B2-1	2.0	B2-1	2.0	圖 3	9	-	-	-	0	1.20	2000	2000	2000	729	○	○
發明例 11	B2-1	2.0	B2-1	2.0	圖 3	13	-	-	-	0	1.40	1000	1000	2000	1099	○	○
發明例 12	B2-2	2.6	B2-2	2.6	圖 3	21	-	-	-	0	1.80	800	800	2000	3704	○	○
發明例 13	B1-1	2.0	B1-1	2.0	圖 7	9	0.4	0.044	槽狀	0	1.10	800	800	1000	583	○	○
發明例 14	B1-2	2.6	B1-2	2.6	圖 7	13	0.5	0.038	階梯狀	0	1.80	800	800	1000	1758	○	○
發明例 15	B1-2	2.6	B1-2	2.6	圖 7	21	0.5	0.024	階梯狀	0	2.20	1500	1500	3000	4631	○	○
發明例 16	B2-1	2.0	B1-1	2.0	圖 4	13	0.5	0.038	-	0	1.20	3000	3000	3000	2197	○	○
發明例 17	B1-1	2.0	B2-1	2.0	圖 4	13	0.3	0.023	-	0	1.40	1500	1500	3000	1099	○	○
發明例 18	B2-2	2.6	B1-2	2.6	圖 4	21	0.5	0.024	-	0	1.80	1200	1200	3000	3704	○	○

○滿足該式的關係

x不滿足該式的關係

表 10 (續)

接頭形式	被接合材				旋轉工具				接合條件				(1) 式	(2) 式	(10) 式			
	第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶		形狀	直徑 D (mm)	dv 或 dc (mm)	dv/D 或 dc/D (mm)	傾斜 角度 α (°)	傾斜 角度 α (°)	肩部間 隙 G (mm)	轉速				接合速度 JS (mm/分鐘)	RS× D ² /JS	
	鋼種	板厚 t1 (mm)	鋼種	板厚 t2 (mm)								表面側						背面側
發明例 19	B1-1	2.0	B1-1	2.0	圖 7 前端凸型	9	0.4	0.044	2	2	0.75	800	800	1000	583	○	○	×
發明例 20	B1-2	2.6	B1-2	2.6	圖 7 前端凸型	13	0.5	0.038	0	0	2.40	1500	1500	1000	3296	○	○	×
發明例 21	B1-1	2.0	B1-1	2.0	圖 7 前端凸型	21	0.5	0.024	0	0	3.00	600	600	1000	5557	○	○	○
比較例 1	B1-1	2.0	B1-1	2.0	圖 3 前端平面	21	-	-	0	0	1.20	1000	1000	2000	4631	×	×	○
比較例 2	B1-2	2.6	B1-2	2.6	圖 7 前端凸型	9	0.4	0.044	0	0	1.80	1000	1000	2000	365	×	×	○
比較例 3	B1-2	2.6	B2-2	2.6	圖 8 前端凹型	21	0.3	0.014	0	0	2.50	2000	2000	2000	9261	○	○	×
比較例 4	B1-1	2.0	B2-1	2.0	圖 5 前端凹型	13	0.3	0.023	0	0	0.75	2500	2500	1000	5493	○	×	×

○滿足該式的關係
x不滿足該式的關係

【0138】 [表 11]

表 11

接頭形式	被接台材				旋轉工具				接合條件				(1) 式	(2) 式	(10) 式	
	第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶		TJ (mm)	針 徑 (mm)	針 長 度 (mm)	傾斜 角 度 α ($^{\circ}$)	肩 部 間 隙 G (mm)	轉速 (次/分鐘)		接 合 速 度 JS (mm/分鐘)				RS \times D ³ /JS
	鋼 種	板 厚 t1 (mm)	鋼 種	板 厚 t2 (mm)						表 面 側	背 面 側					
發明例 22	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	4	0.6	1.5	1.20	1000	1000	2000	1099	○	○	○
發明例 23	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	6.7	0.9	1.5	1.50	800	800	2000	3704	○	○	○
發明例 24	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	4	0.6	1.5	1.20	300	300	1000	659	○	○	○
發明例 25	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	6.7	0.9	1.5	1.50	550	550	1000	5094	○	○	○
發明例 26	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	4	0.6	1.5	1.20	1500	1500	3000	1099	○	○	○
發明例 27	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	6.7	0.9	1.5	1.50	1200	1200	3000	3704	○	○	○
發明例 28	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	4	0.6	1.5	1.70	1000	1000	2000	1099	○	○	○
發明例 29	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	4	0.6	1.5	1.30	800	800	2000	879	○	○	○
發明例 30	B2-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	4	0.6	0.5	1.20	1000	1000	2000	1099	○	○	○
發明例 31	B2-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	6.7	0.9	2	1.50	800	800	2000	3704	○	○	○
發明例 32	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	4	0.6	1	0.75	1000	1000	2000	1099	○	○	×
發明例 33	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	6.7	0.9	2	2.40	1000	1000	2000	4631	○	○	×
發明例 34	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	6.7	0.9	1.5	3.00	600	600	1000	5557	○	○	○
比較例 5	B2-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	6.7	0.9	2	1.20	500	500	1000	4631	×	×	○
比較例 6	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	4	0.6	2	1.50	200	200	1000	439	○	×	○
比較例 7	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	4	0.6	0	1.90	500	500	3000	366	○	×	×
比較例 8	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	6.7	0.9	3.5	1.00	800	800	1000	7409	○	×	×

○滿足該式的關係

×不滿足該式的關係

【0139】 [表 12]

表 12

	接頭形式	接合方法	被接合材										接合部					熱加工影響部					
			第一電磁鋼帶				第二電磁鋼帶				TbnL (mm)	TbnH (mm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dsz (μm)	Hsz	TszL (mm)	TszH (mm)	第一電磁鋼帶		第二電磁鋼帶			
			鋼種	Dbm1 (μm)	Hbm1 (mm)	板厚 (mm)	鋼種	Dbm2 (μm)	Hbm2 (mm)	板厚 (mm)								鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz1 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz2 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)	
發明例 1	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	219	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	76	234	1.7	2.0	190	100	100	193	100
發明例 2	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	219	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	86	232	1.8	2.1	203	100	100	201	100
發明例 3	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	219	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	100	230	2.3	2.8	217	100	100	214	100
發明例 4	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	2.0	242	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	52	271	1.7	2.1	194	100	100	195	100
發明例 5	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	2.6	242	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	103	257	2.4	2.7	221	100	100	225	100
發明例 6	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	2.6	242	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	167	249	2.6	2.6	255	100	100	257	100
發明例 7	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	219	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	75	248	1.8	2.0	185	100	100	199	100
發明例 8	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	2.0	242	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	92	245	1.8	2.2	225	100	100	203	100
發明例 9	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	219	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	110	242	2.4	2.8	215	100	100	235	100
發明例 10	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	2.0	242	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	83	261	1.8	2.1	202	100	100	200	100
發明例 11	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	2.0	242	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	94	258	1.7	2.1	223	100	100	224	100
發明例 12	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	2.6	242	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	113	255	2.4	2.8	199	100	100	203	100
發明例 13	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	219	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	48	242	1.7	2.2	203	100	100	201	100
發明例 14	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	219	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	96	230	2.3	2.7	201	100	100	204	100
發明例 15	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	219	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	151	225	2.6	2.7	233	100	100	231	100
發明例 16	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	2.0	242	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	102	243	1.7	2.0	215	100	100	190	100
發明例 17	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	219	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	100	159	237	1.8	2.1	230	100	100	256	100
發明例 18	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	2.6	242	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	100	109	242	2.4	2.7	237	100	100	214	100

表12 (續)

發明明例	接頭形式	接合方法	被接台材										接合部				熱加工影響部							
			第一電磁鋼帶				第二電磁鋼帶				TbnL (mm)	TbnH (mm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dsz (μm)	Hsz (mm)	TszL (mm)	TszH (mm)	第一電磁鋼帶側		第二電磁鋼帶側				
			鋼種	Dbm1 (μm)	Hbm1 (mm)	板厚 (mm)	鋼種	Dbm2 (μm)	Hbm2 (mm)	板厚 (mm)								鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz1 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz2 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)		
發明例 19	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	100	65	260	1.5	1.9	100	193	100	194	100	
發明例 20	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	100	98	231	2.5	2.7	100	215	100	212	100	
發明例 21	搭接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	100	155	218	3.2	3.8	100	253	100	251	100	
比較例 1	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 2	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 3	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 4	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	100	210	205	1.5	2.6	100	203	100	227	100	

【0140】 [表 13]

表 13

接頭形式	接合方法	被接合材										接合部				熱加工影響部								
		第一電磁鋼帶					第二電磁鋼帶					鐵氧體相面積率 (%)	Dsz (μm)	Hsz	TszL (mm)	TszH (mm)	第一電磁鋼帶側		第二電磁鋼帶側					
		鋼種	Dbm1 (μm)	Hbm1	板厚 (mm)	鋼種	Dbm2 (μm)	Hbm2	板厚 (mm)	TbmL (mm)	TbmH (mm)						鐵氧體相面積率 (%)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz1 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)	Dhaz2 (μm)	鐵氧體相面積率 (%)		
發明例 22	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	100	77	234	1.9	2.0	100	190	100	205	100	
發明例 23	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	100	99	230	2.5	2.7	100	217	100	210	100	
發明例 24	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	100	50	272	1.8	2.0	100	192	100	197	100	
發明例 25	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	100	181	248	2.3	2.8	100	253	100	257	100	
發明例 26	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	100	79	248	1.8	2.2	100	203	100	223	100	
發明例 27	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	100	98	244	2.5	2.8	100	218	100	235	100	
發明例 28	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	100	103	229	2.0	2.0	100	198	100	196	100	
發明例 29	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	100	105	256	2.3	2.6	100	221	100	223	100	
發明例 30	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	B1-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	100	80	247	1.9	2.0	100	225	100	205	100	
發明例 31	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	B1-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	100	108	242	2.4	2.6	100	237	100	220	100	
發明例 32	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	100	80	231	1.5	2.0	100	193	100	195	100	
發明例 33	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	100	111	241	2.5	2.6	100	238	100	221	100	
發明例 34	搭接	雙面	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	100	183	212	3.2	3.5	100	251	100	255	100	
比較例 5	對接	雙面	B2-1	310	242	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 6	對接	雙面	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 7	對接	雙面	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
比較例 8	對接	雙面	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	100	250	201	1.9	2.6	100	250	100	290	100	290

【0141】 [表 14]

表 14

	(3)式	(4)式	(5)式	(6)式	(7)式	(8)式	表面 缺陷	內部 缺陷	接合接頭的 愛理遜值 (mm)	愛理遜值的 比率 (%)	90%維持 最大接合次數
發明例 1	○	○	○	○	○	○	無	無	13.0	105	19
發明例 2	○	○	○	○	○	○	無	無	12.7	102	21
發明例 3	○	○	○	○	○	○	無	無	12.1	90	16
發明例 4	○	○	○	○	○	○	無	無	3.7	106	17
發明例 5	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84	25
發明例 6	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	82	18
發明例 7	○	○	○	○	○	○	無	無	3.0	86	15
發明例 8	○	○	○	○	○	○	無	無	3.3	94	25
發明例 9	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	82	15
發明例 10	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	89	18
發明例 11	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	91	24
發明例 12	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	82	23
發明例 13	○	○	○	○	○	○	無	無	13.2	106	18
發明例 14	○	○	○	○	○	○	無	無	13.3	99	23
發明例 15	○	○	○	○	○	○	無	無	11.5	85	17
發明例 16	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	91	22
發明例 17	○	○	○	○	○	○	無	無	2.9	83	18
發明例 18	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	82	20
發明例 19	○	○	○	○	×	○	無	無	10.5	85	16
發明例 20	○	○	○	○	○	○	無	無	12.1	90	18
發明例 21	○	○	○	○	○	×	無	無	9.9	80	17
比較例 1	-	-	-	-	-	-	有	-	-	-	0
比較例 2	-	-	-	-	-	-	無	有	-	-	0
比較例 3	-	-	-	-	-	-	無	有	-	-	0
比較例 4	×	○	○	×	×	○	無	無	1.6	46	10

○滿足該式的關係
 ×不滿足該式的關係

【0142】 [表 15]

表 15

	(3)式	(4)式	(5)式	(6)式	(7)式	(8)式	表面 缺陷	內部 缺陷	接合接頭的 愛理遜值 (mm)	愛理遜值的 比率 (%)	90%維持 最大接合次數
發明例 22	○	○	○	○	○	○	無	無	12.6	102	14
發明例 23	○	○	○	○	○	○	無	無	13.4	99	8
發明例 24	○	○	○	○	○	○	無	無	3.3	94	9
發明例 25	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84	6
發明例 26	○	○	○	○	○	○	無	無	3.1	89	13
發明例 27	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84	10
發明例 28	○	○	○	○	○	○	無	無	11.1	90	14
發明例 29	○	○	○	○	○	○	無	無	3.2	84	11
發明例 30	○	○	○	○	○	○	無	無	3.4	97	14
發明例 31	○	○	○	○	○	○	無	無	3.3	87	8
發明例 32	○	○	○	○	○	○	無	無	10.8	87	17
發明例 33	○	○	○	○	○	○	無	無	11.8	87	21
發明例 34	○	○	○	○	○	○	無	無	10.1	81	18
比較例 5	-	-	-	-	-	-	有	-	-	-	0
比較例 6	-	-	-	-	-	-	無	有	-	-	0
比較例 7	-	-	-	-	-	-	無	有	-	-	0
比較例 8	x	○	○	x	x	○	無	無	2.5	66	7

○滿足該式的關係

x不滿足該式的關係

【0143】 根據表 14 及表 15，於發明例中，均進行了接合速度為 1000 mm/分鐘以上的高效率的接合，同時獲得了無缺陷、具有優異的斷裂抑制效果的電磁鋼帶的接合接頭。另外，於使用了無銷的旋轉工具的發明例 1～發明例 18 中，於旋轉工具的耐久性（壽命）方面亦優異。

另一方面，於比較例中產生了缺陷、或者未獲得充分的斷裂抑制效果。

【符號說明】

【0144】

- 1:第一電磁鋼帶（被接合材）
- 2:第二電磁鋼帶（被接合材）
- 3:旋轉工具
 - 3-1:旋轉工具（表面側旋轉工具）
 - 3-2:旋轉工具（背面側旋轉工具）
- 4:接合部
 - 4-1:熱加工影響部（第一電磁鋼帶側）
 - 4-2:熱加工影響部（第二電磁鋼帶側）
- 5、5-1、5-2:肩部
- 6、6-1、6-2:銷（針）
- 7:把持裝置
- 8:壓盤（墊板）
- 9、9-1、9-2:前端部

D:肩徑

dc:曲面深度

dv:曲面高度

α :傾斜角度

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，藉由彼此相向的一對旋轉工具將第一電磁鋼帶與繼所述第一電磁鋼帶之後的第二電磁鋼帶接合，所述電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法中，

對於作為所述第一電磁鋼帶的端部與所述第二電磁鋼帶的端部的對接部或重疊部的未接合部，使所述旋轉工具自所述未接合部的兩面一邊向彼此相反的方向旋轉一邊予以按壓，

繼而，使所述旋轉工具沿接合方向移動，藉此將所述第一電磁鋼帶與所述第二電磁鋼帶接合，

另外，所述旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 滿足下式 (1) 的關係，且，

由所述旋轉工具的轉速 RS (次/分鐘)、所述旋轉工具的肩部的直徑 D (mm) 及接合速度 JS (mm/分鐘) 表示的 $RS \times D^3 / JS$ 滿足下式 (2) 的關係，

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， TJ 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值 (mm)，

於未接合部為重疊部的情況下， TJ 為重疊部的厚度 (mm)。

【請求項2】 如請求項 1 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，於藉由所述第一電磁鋼帶與所述第二電磁鋼帶的接合而形成的接合部及熱加工影響部的鋼組織分別成為鐵氧體相主體的組織、且滿足下式（3）～式（6）的關係的條件下進行接合，

$$D_{sz} \leq 200 \mu\text{m} \quad \cdots (3)$$

$$D_{haz1} \leq D_{bm1} \quad \cdots (4)$$

$$D_{haz2} \leq D_{bm2} \quad \cdots (5)$$

$$0.9 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \leq H_{sz} \leq 1.2 \times (H_{bm1} + H_{bm2}) / 2 \quad \cdots (6)$$

此處，

D_{sz} 為接合部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{haz1} 為第一電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{haz2} 為第二電磁鋼帶側的熱加工影響部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{bm1} 為第一電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

D_{bm2} 為第二電磁鋼帶的母材部的鐵氧體粒徑的平均值（ μm ），

H_{sz} 為接合部的硬度的平均值，

Hbm1 為第一電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值，

Hbm2 為第二電磁鋼帶的母材部的硬度的平均值。

【請求項3】 如請求項 1 或請求項 2 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，於滿足下式（7）及式（8）的關係的條件下進行接合，

$$0.8 \times TbmL \leq TszL \quad \cdots (7)$$

$$TszH \leq 1.3 \times TbmH \quad \cdots (8)$$

此處，

TszL 為接合部的厚度的最小值（mm），

TszH 為接合部的厚度的最大值（mm），

TbmL 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較薄的電磁鋼帶的板厚（mm），

TbmH 為第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶中較厚的電磁鋼帶的板厚（mm）；

其中，於第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶的板厚相同的情況下，為 $TbmL = TbmH$ 。

【請求項4】 如請求項 1 或請求項 2 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的傾斜角度 α （°）滿足下式（9）的關係，

$$0^{\circ} < \alpha \leq 2^{\circ} \quad \dots (9)。$$

【請求項5】 如請求項 1 或請求項 2 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的肩部間間隙 G (mm) 滿足下式 (10) 的關係，

$$0.5 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \leq G \leq 0.9 \times TJ - 0.1 \times D \times \sin \alpha \quad \dots (10)$$

此處，

於未接合部為對接部的情況下， TJ 為第一電磁鋼帶的板厚及第二電磁鋼帶的板厚的平均值 (mm)，

於未接合部為重疊部的情況下， TJ 為重疊部的厚度 (mm)；

另外， D 為旋轉工具的肩部的直徑 (mm)， α 為旋轉工具的傾斜角度 (°)。

【請求項6】 如請求項 1 或請求項 2 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具為無銼的旋轉工具。

【請求項7】 如請求項 6 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的前端面為平面、凸型的曲面或凹型的曲面。

【請求項8】 如請求項 6 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋轉工具的前端面具有與旋轉為相反方向的旋渦狀的階差部。

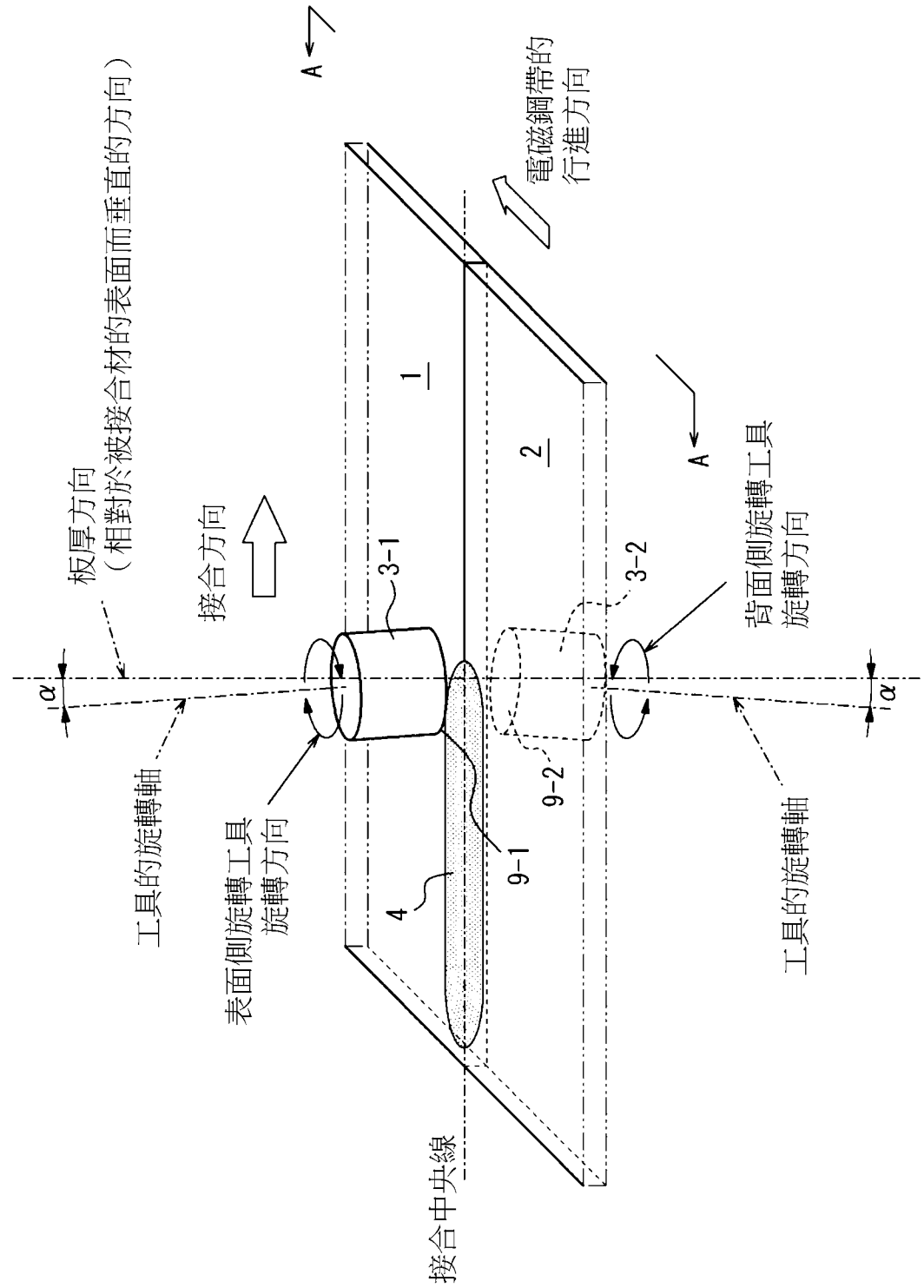
【請求項9】 如請求項 8 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，

其中，所述旋渦狀的階差部自所述旋轉工具的前端面的中心朝向外周逐漸變低。

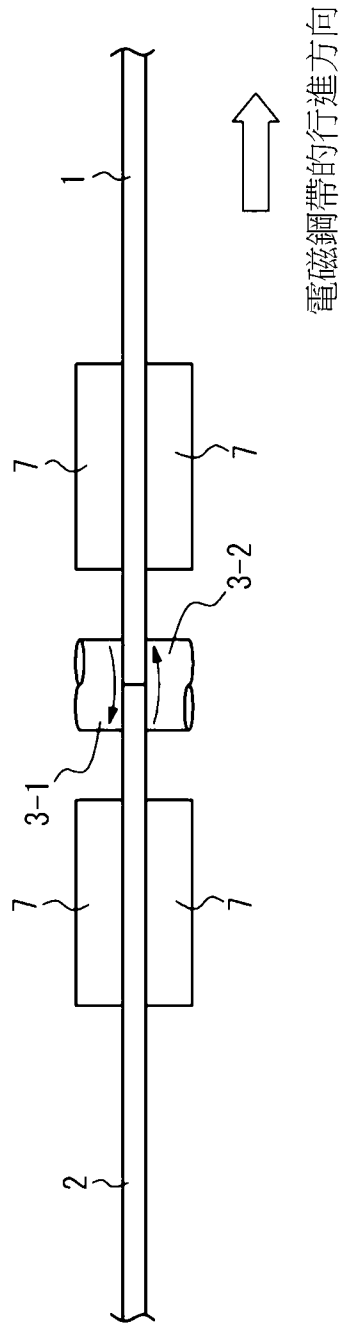
【請求項10】 如請求項 8 所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，其中，所述旋渦狀的階差部自所述旋轉工具的前端面的中心朝向外周逐漸變高。

【請求項11】 一種電磁鋼帶的製造方法，包括：藉由如請求項 1 至請求項 10 中任一項所述的電磁鋼帶的摩擦攪拌接合方法，將第一電磁鋼帶與第二電磁鋼帶接合而獲得接合鋼帶的步驟；以及對所述接合鋼帶實施冷軋而獲得冷軋鋼帶的步驟。

【發明圖式】

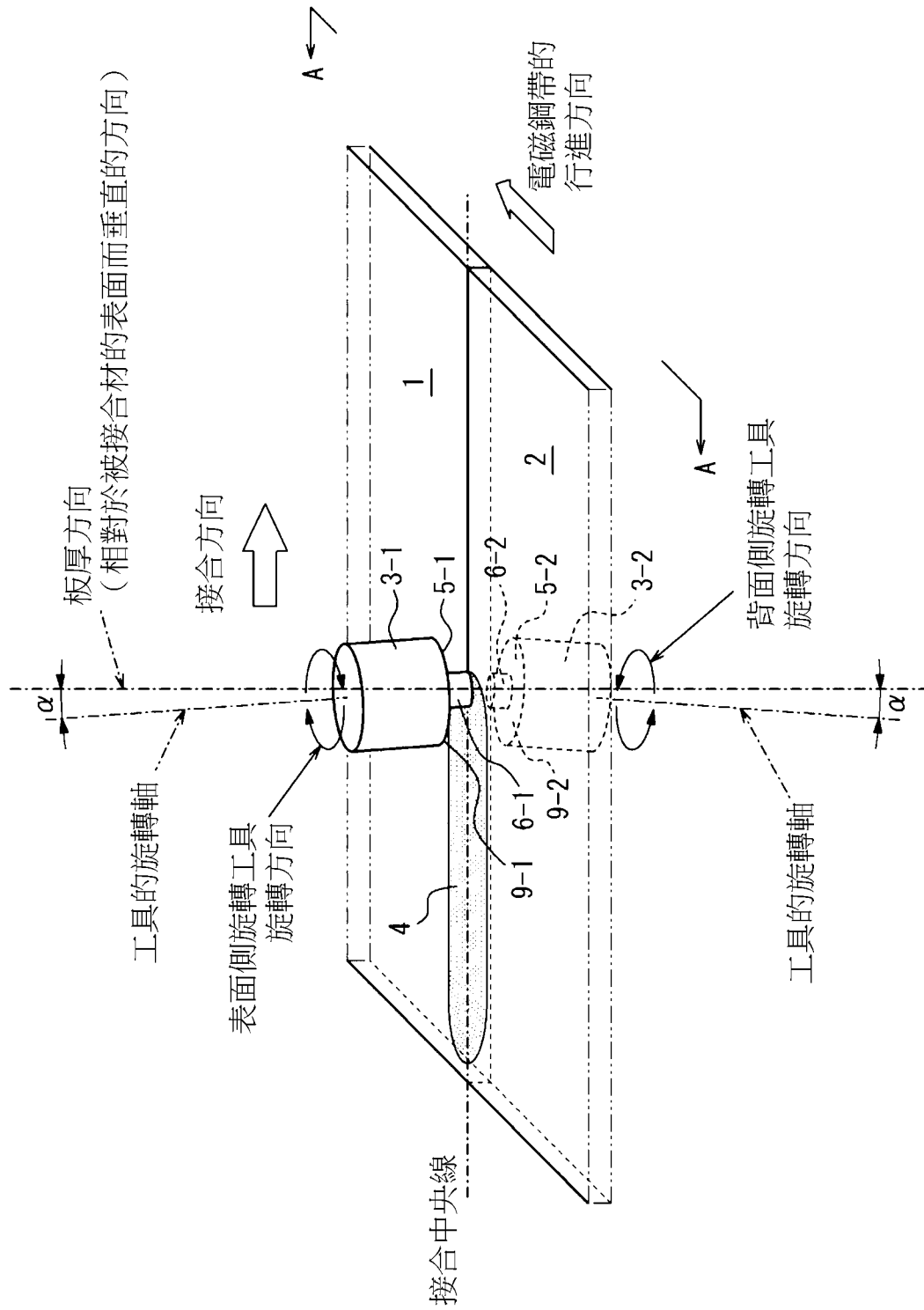


【圖1A】

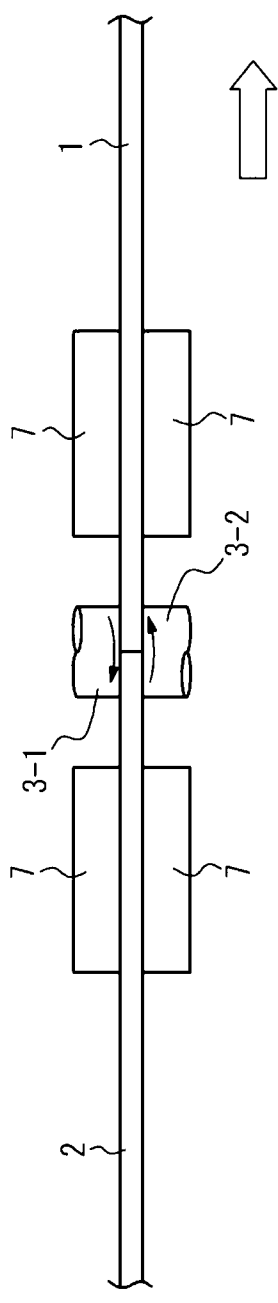


A-A箭視圖

【圖1B】



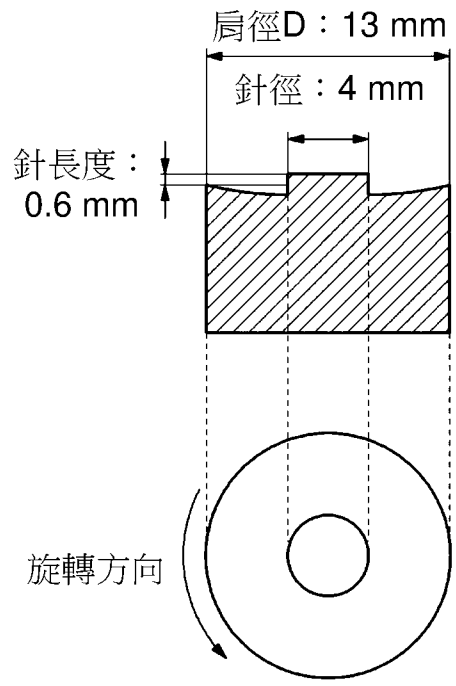
【圖1C】



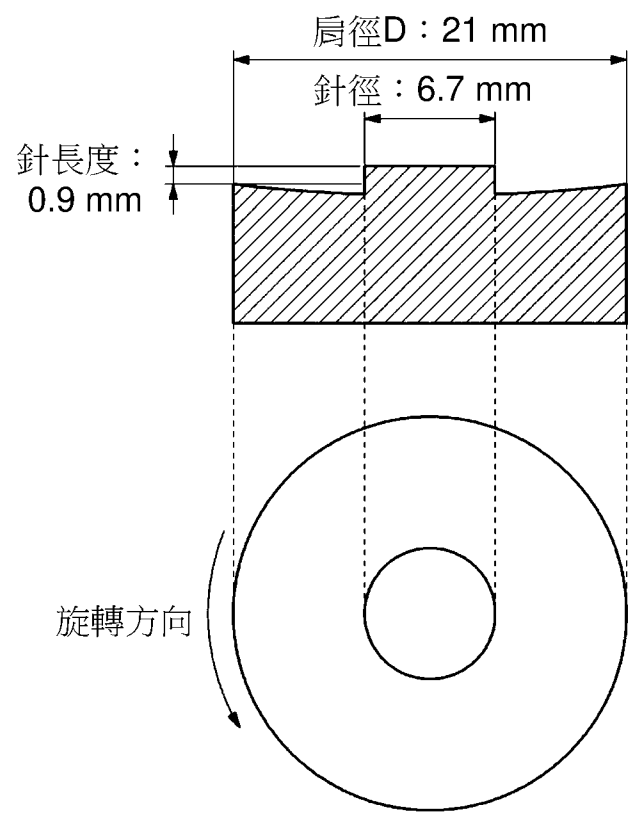
電磁鋼帶的行進方向

A-A箭視圖

【圖1D】

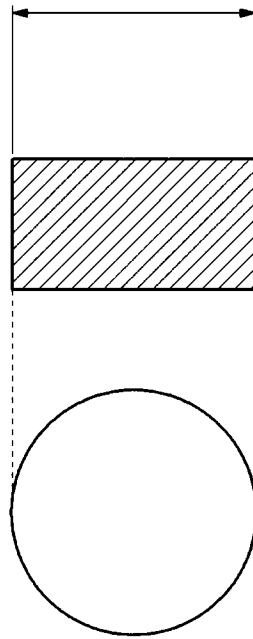


【圖2A】



【圖2B】

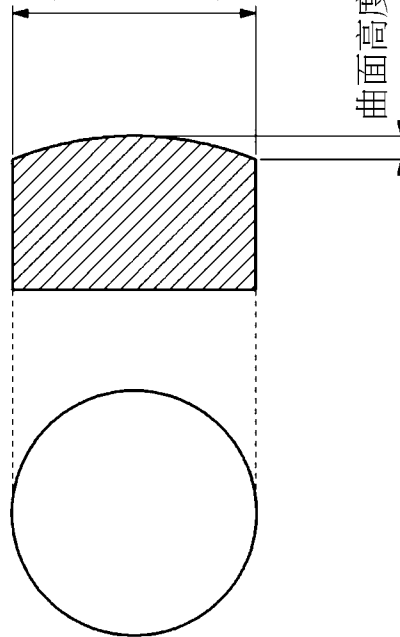
肩徑D (前端徑)



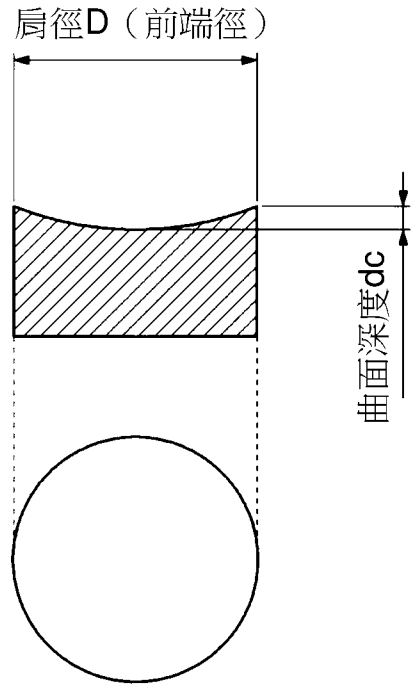
【圖3】

肩徑D (前端徑)

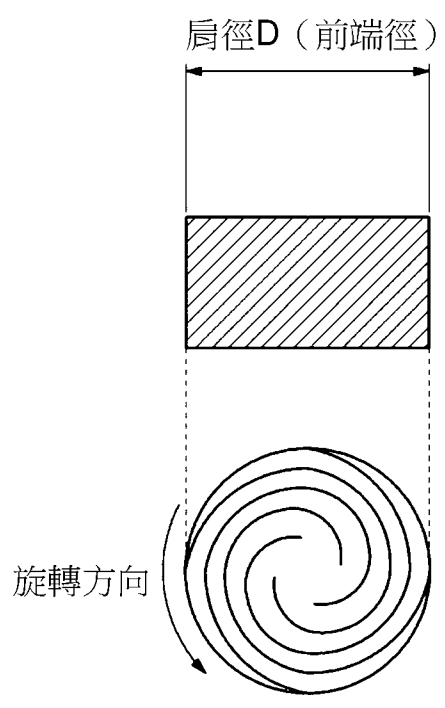
曲面高度 dv



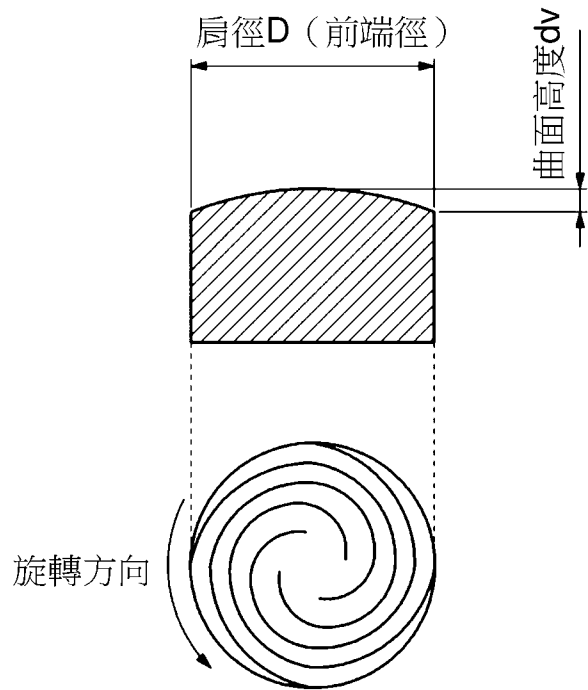
【圖4】



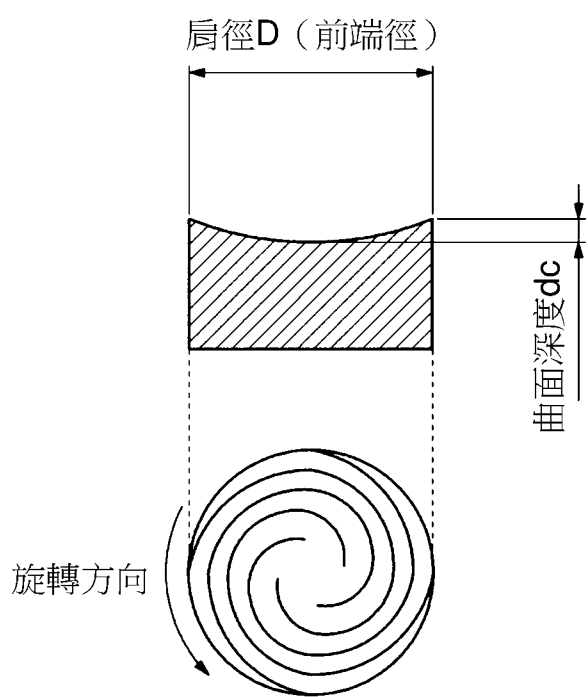
【圖5】



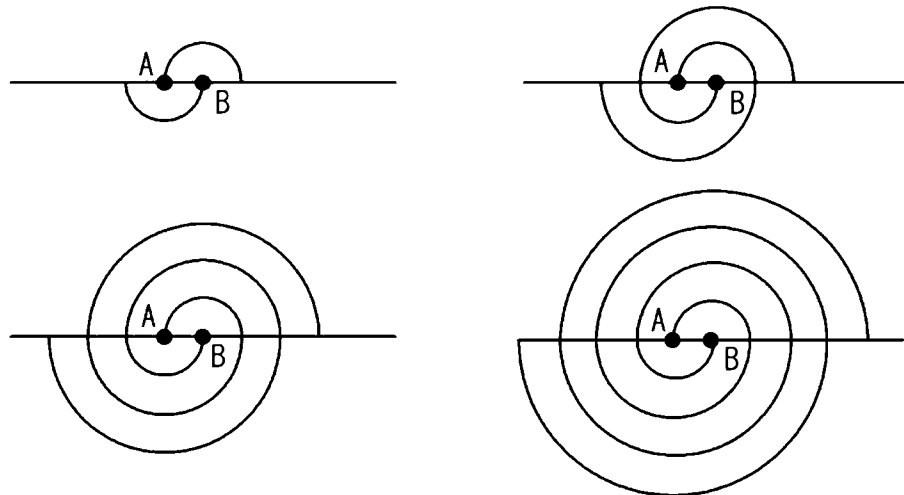
【圖6】



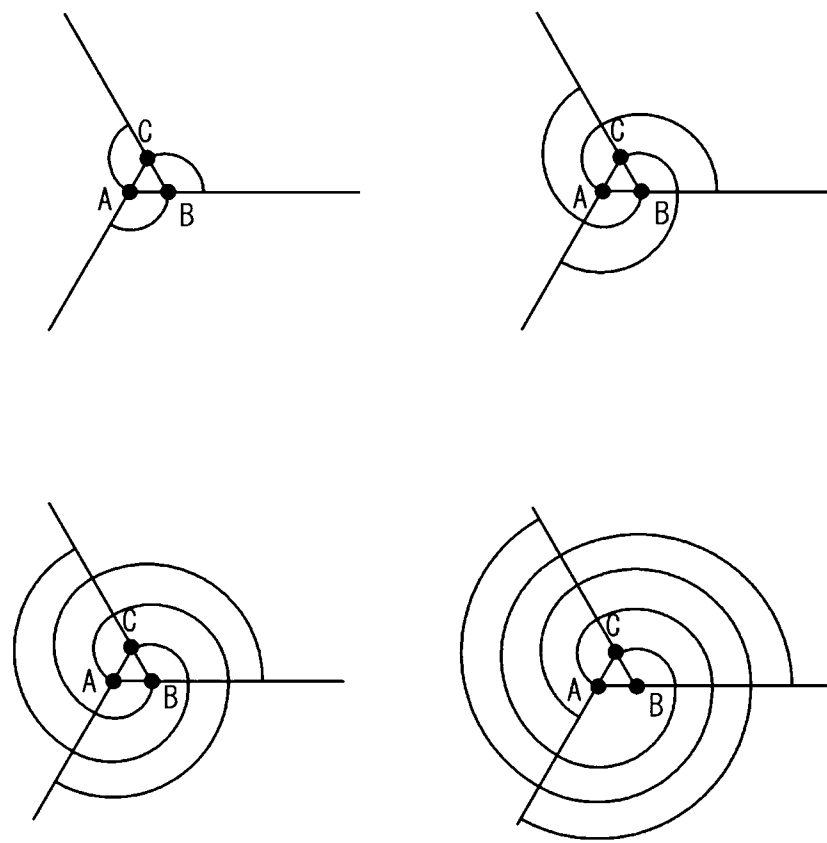
【圖7】



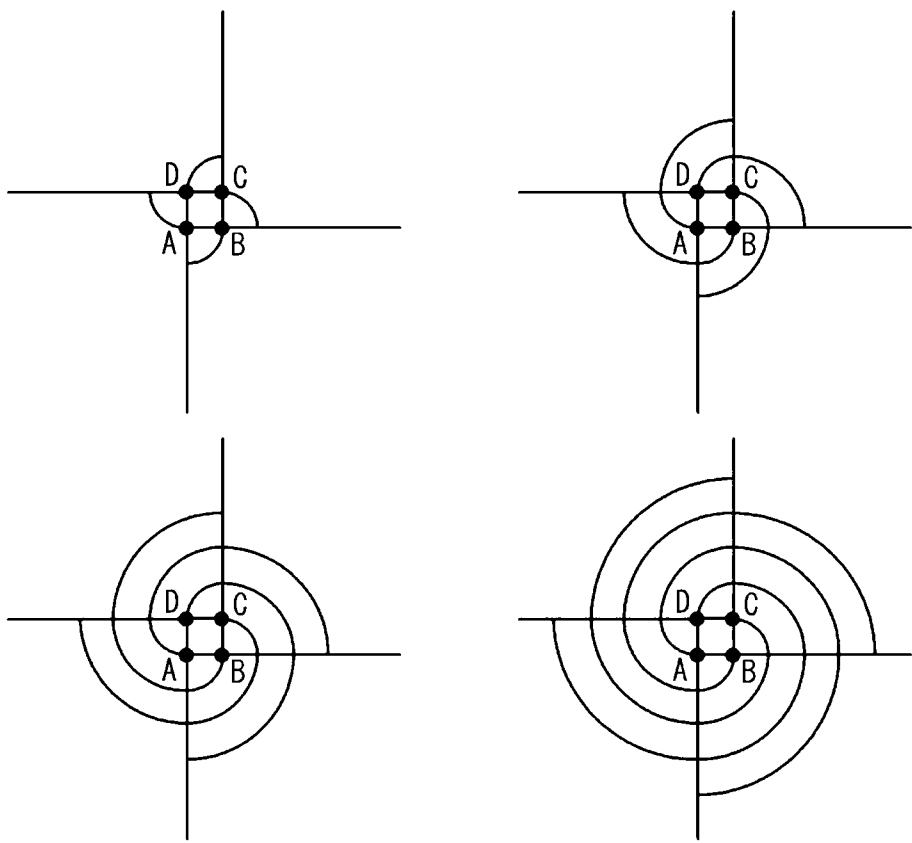
【圖8】



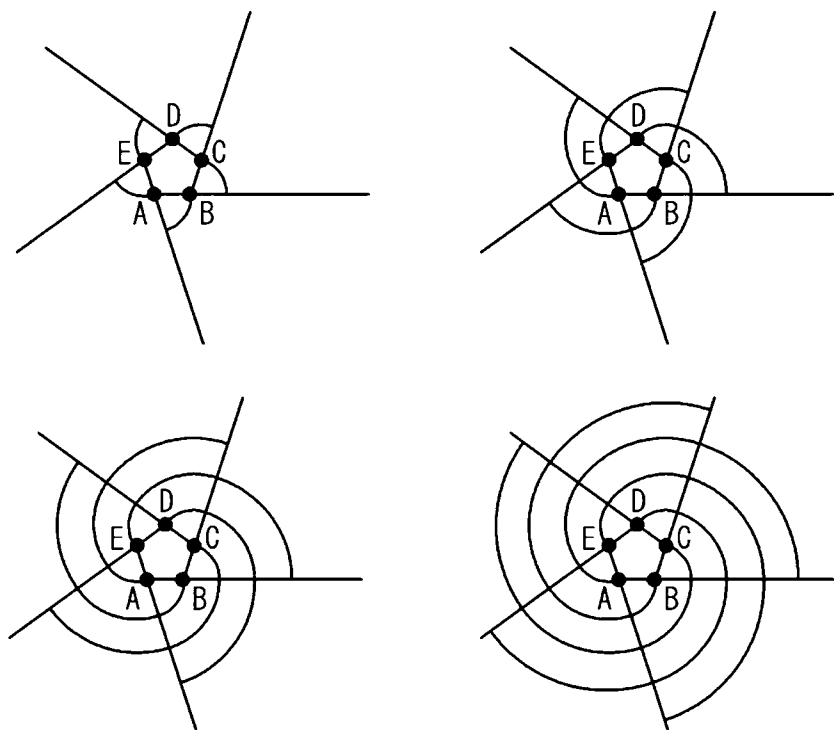
【圖9】



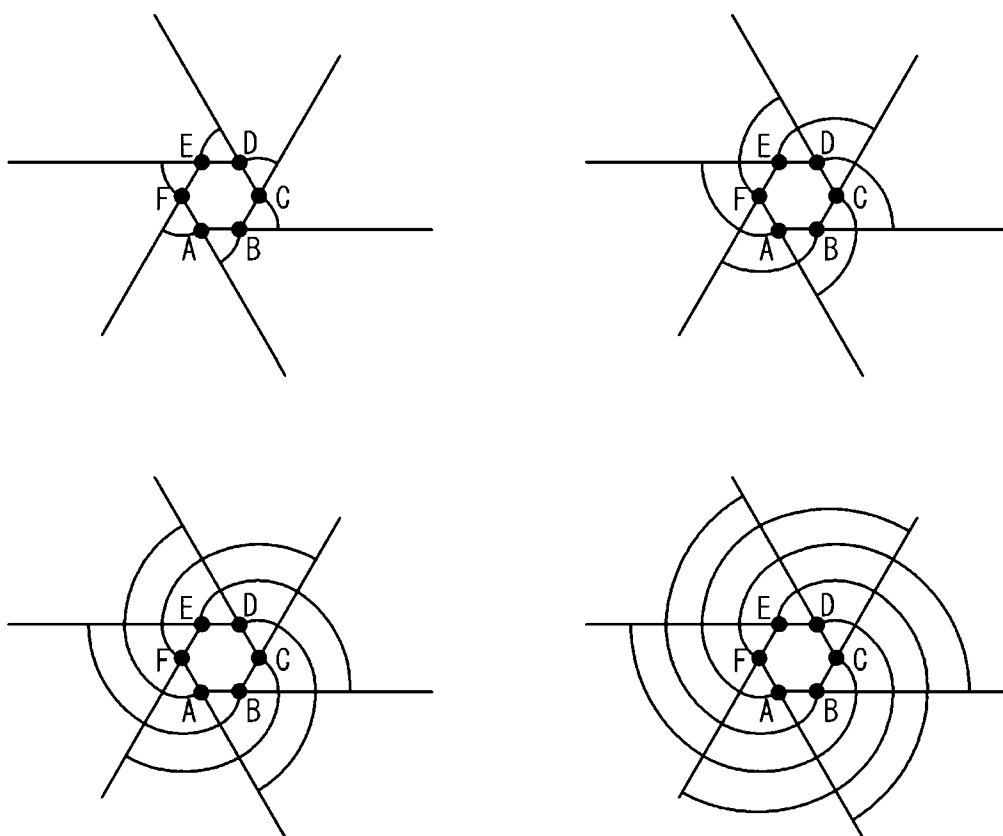
【圖10】



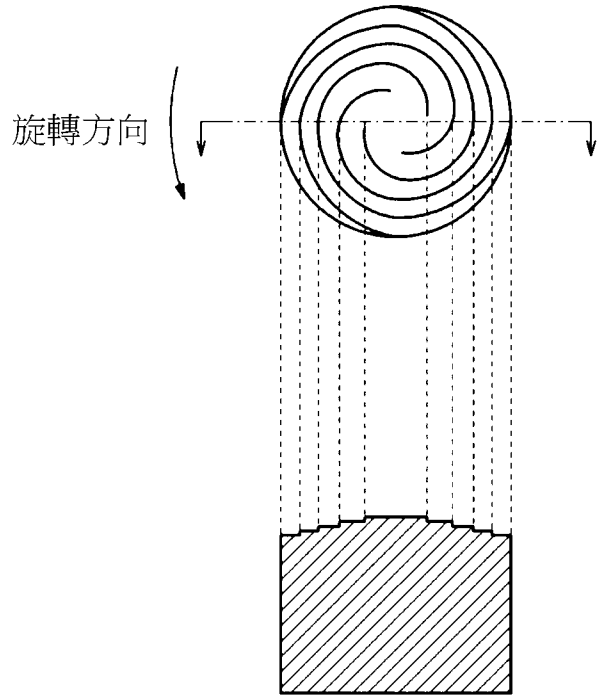
【圖11】



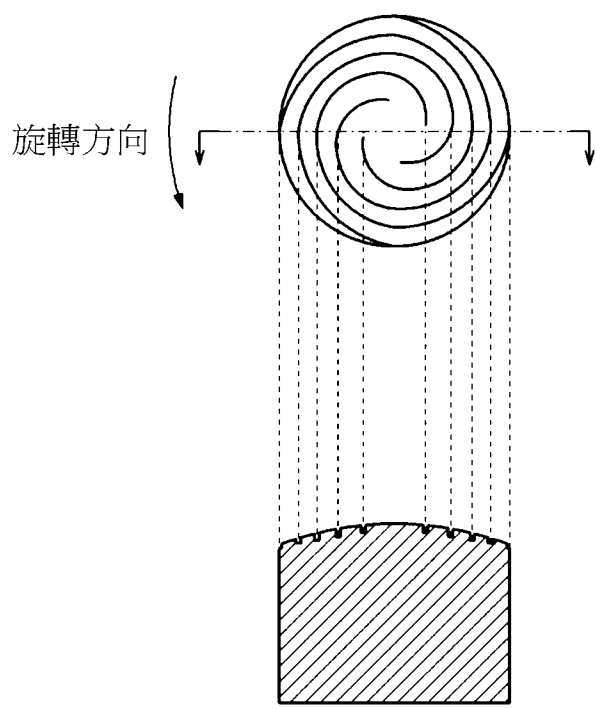
【圖12】



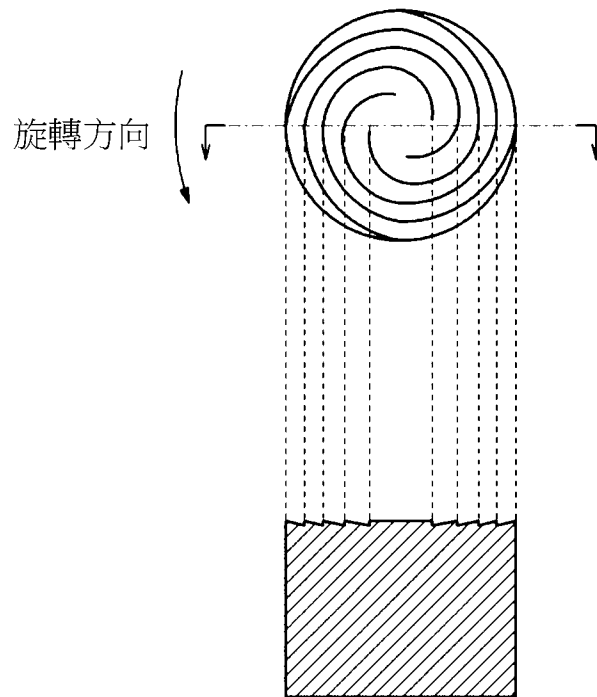
【圖13】



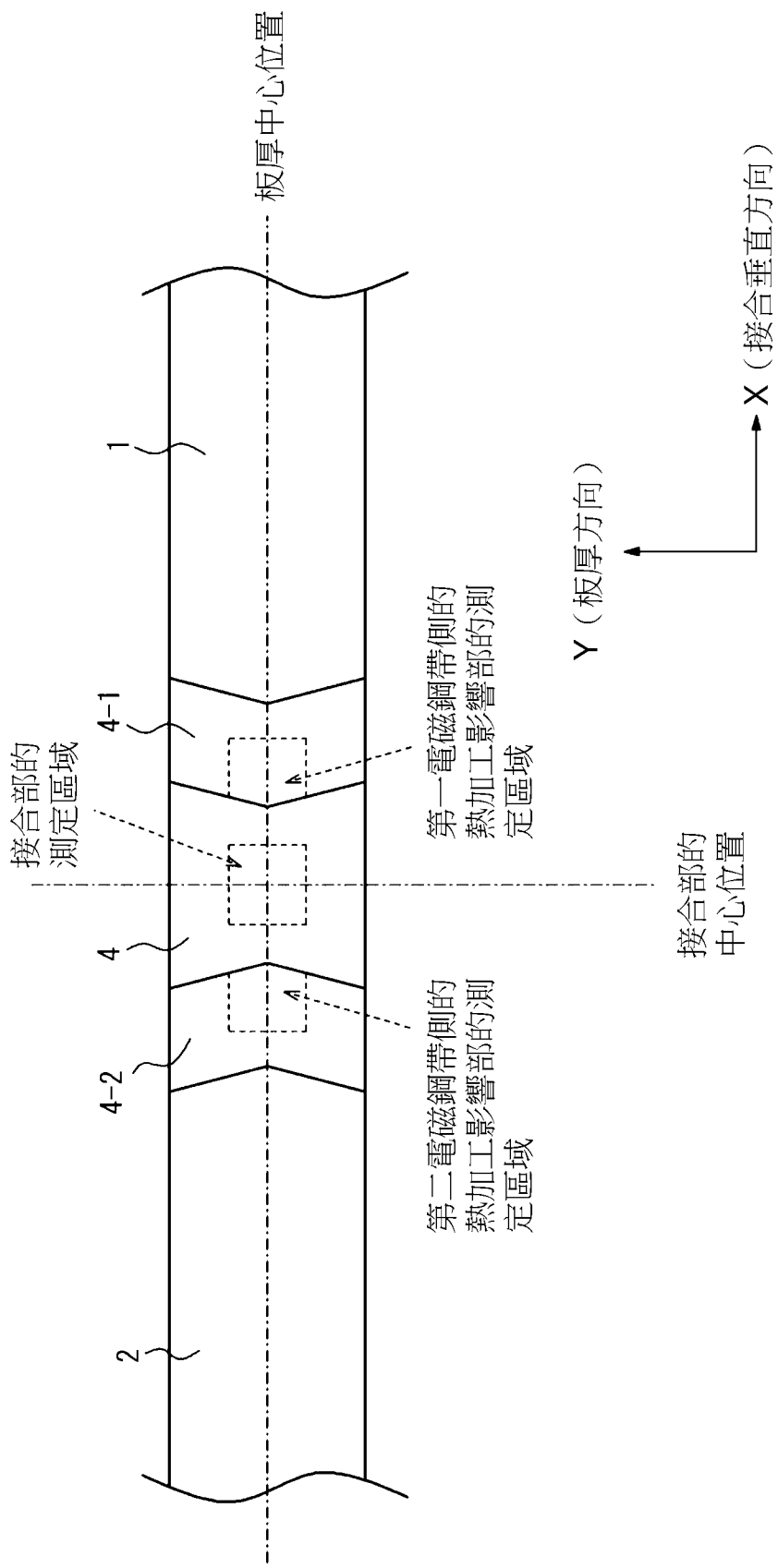
【圖14】



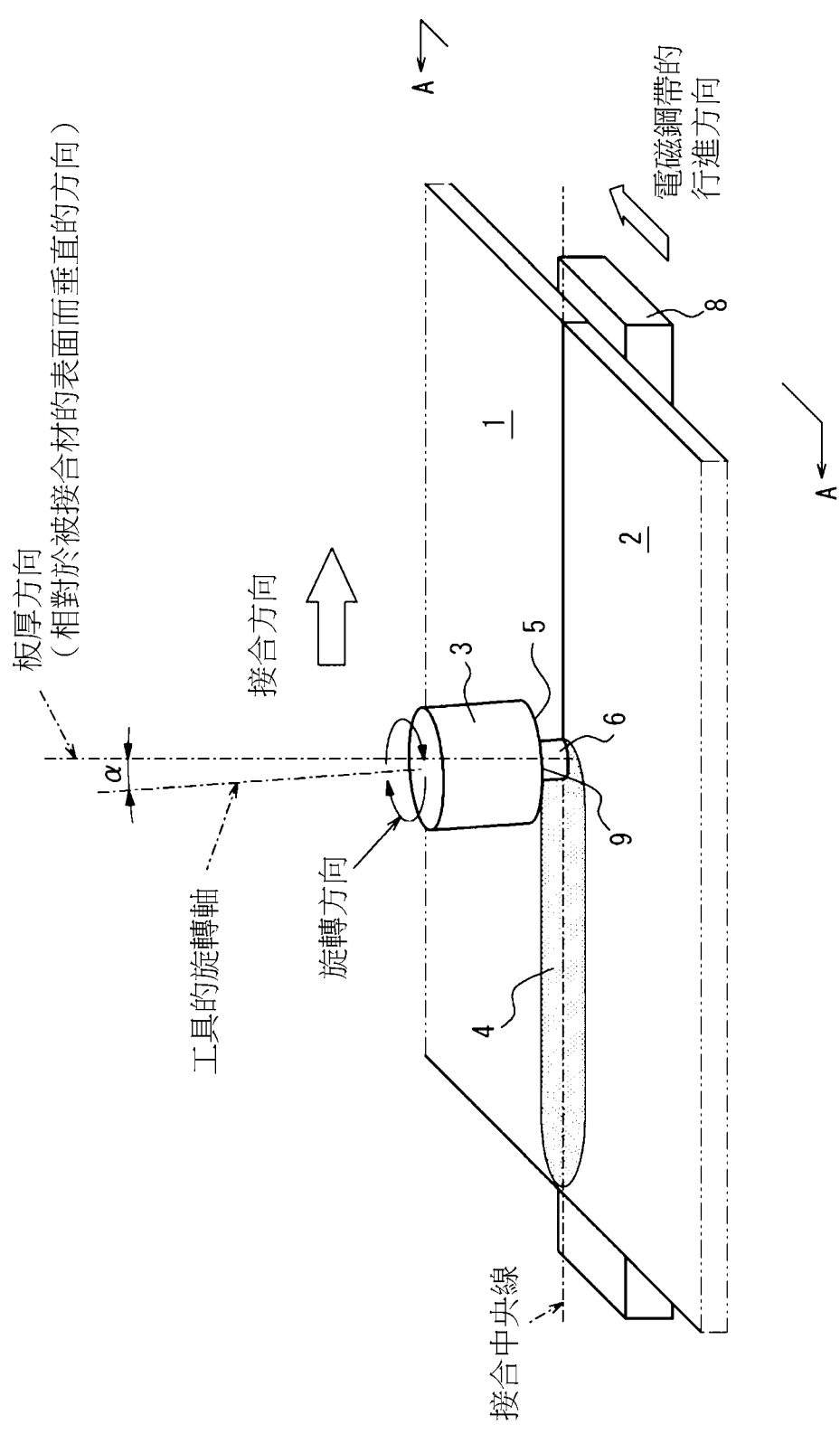
【圖15】



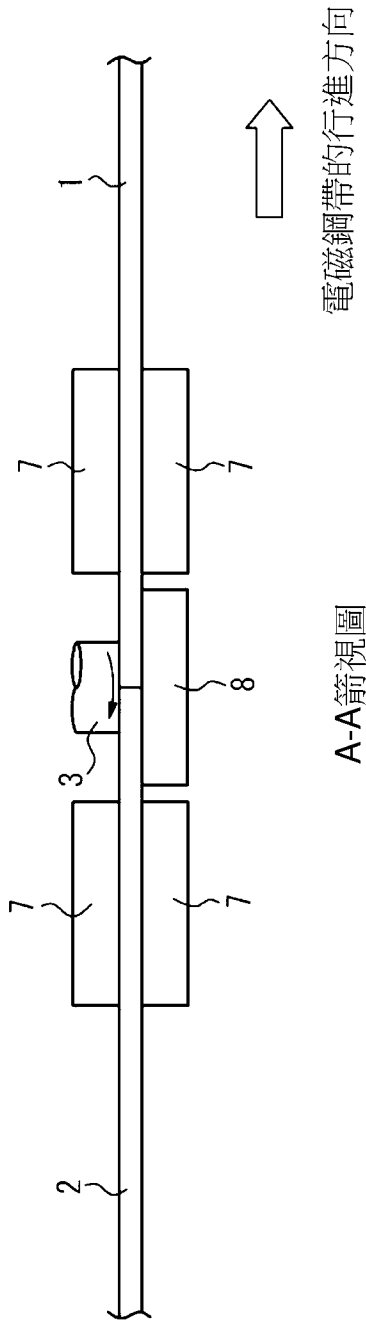
【圖16】



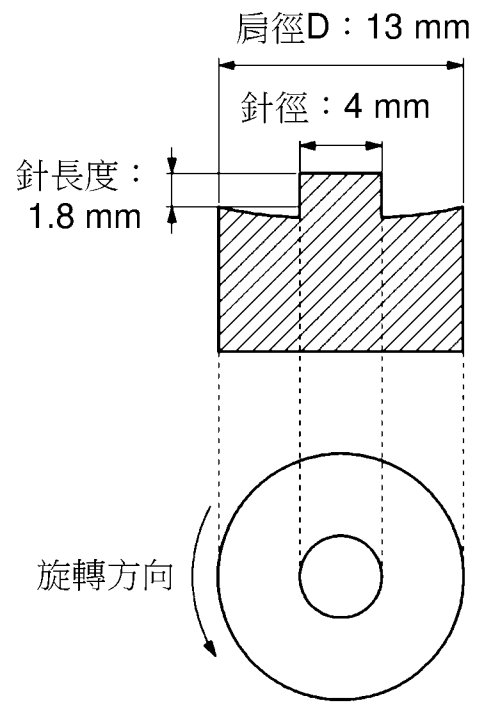
【圖17】



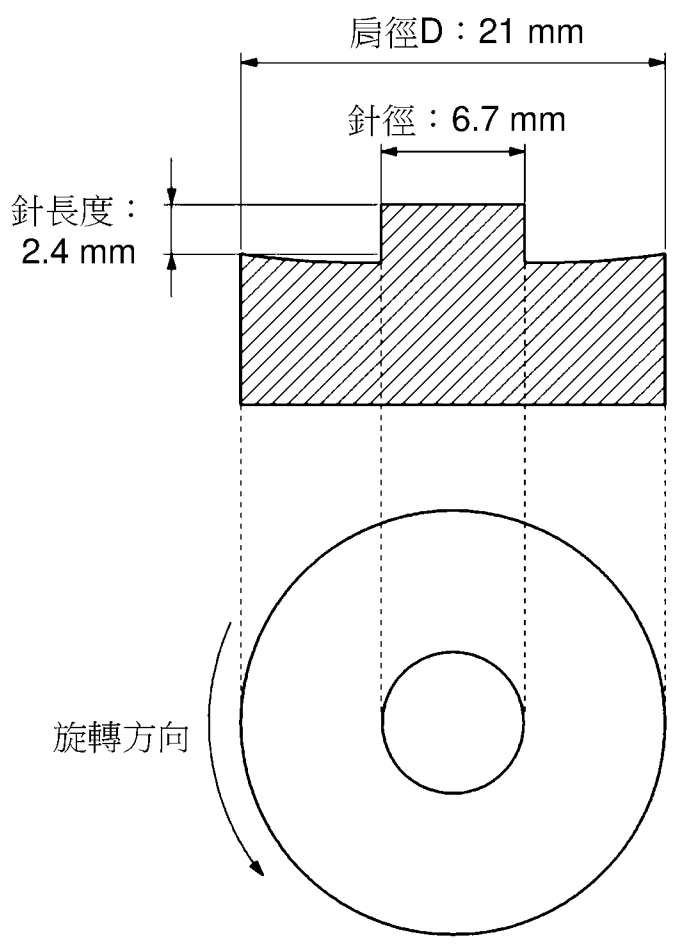
【圖18A】



【圖18B】



【圖19A】



【圖19B】