



(21)申請案號：110139740

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 10 月 26 日

(51)Int. Cl. : **B32B15/01 (2006.01)****B32B1/00 (2006.01)****C22C38/16 (2006.01)****H01F1/147 (2006.01)****H01F1/16 (2006.01)****H01F3/02 (2006.01)****H01F27/245 (2006.01)****H01F41/02 (2006.01)**

(30)優先權：2020/10/26 日本

2020-179266

(71)申請人：日商日本製鐵股份有限公司 (日本) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：川村悠祐 KAWAMURA, YUSUKE (JP)；水村崇人 MIZUMURA, TAKAHITO (JP)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：

US 2020/0126709A1

審查人員：林偉

申請專利範圍項數：3 項 圖式數：8 共 41 頁

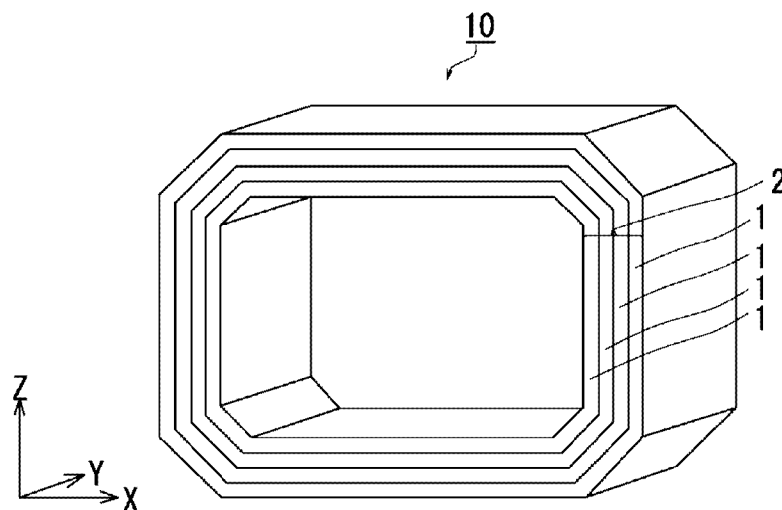
(54)名稱

捲鐵心

(57)摘要

本發明之捲鐵心具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板積層而成者，方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續，並且，在至少一個撓曲部中，方向性電磁鋼板的結晶粒徑 D_{px} 為 $2W$ 以下。

指定代表圖：



符號簡單說明：

1:方向性電磁鋼板

2:積層結構

10:捲鐵心本體

X,Y,Z:三軸方向

【圖1】



I818340

【發明摘要】

【中文發明名稱】

捲鐵心

【中文】

本發明之捲鐵心具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板積層而成者，方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續，並且，在至少一個撓曲部中，方向性電磁鋼板的結晶粒徑 D_{px} 為 $2W$ 以下。

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

1:方向性電磁鋼板

2:積層結構

10:捲鐵心本體

X,Y,Z:三軸方向

【特徵化學式】

(無)

【發明說明書】

【中文發明名稱】

捲鐵心

【技術領域】

【0001】 本發明涉及捲鐵心。本案係依據已於2020年10月26日於日本提出申請之特願2020-179266號主張優先權，並在此援引其內容。

【先前技術】

【0002】 方向性電磁鋼板為含有7質量%以下之Si且具有二次再結晶晶粒聚集於{110}<001>方位(Goss方位)之二次再結晶集合組織的鋼板。方向性電磁鋼板之磁特性會受到往{110}<001>方位聚集之聚集度的大幅影響。近年來，實用之方向性電磁鋼板係被控制成使結晶之<001>方向與軋延方向之角度落在5°左右的範圍內。

【0003】 方向性電磁鋼板可積層後用於變壓器之鐵心等，作為主要之磁特性係要求具高磁通密度與低鐵損。已知結晶方位與該等特性具有強烈相關，且已揭示譬如專利文獻1~3之細膩的方位控制技術。

【0004】 此外，方向性電磁鋼板中之結晶粒徑的影響乃眾所皆知，作為利用控制結晶粒徑來改善特性的技術已揭示專利文獻4~7等。

【0005】 又，關於製造捲鐵心，迄今已廣為人知的方法係譬如專利文獻8所記載這般，在將鋼板捲取成筒狀之後，直接將筒狀積層體進行壓製而形成為大致矩形，以使角落部成為固定曲率，然後再藉由進行退火來消除應力與維持形狀。

【0006】 另一方面，作為捲鐵心之另一製造方法揭示了如專利文獻9~11之技術，該技術係事先將鋼板要成為捲鐵心之角落部的部分進行彎曲加工以形成曲率半徑為3mm以下之較小的撓曲區域，再將該經彎曲加工之鋼板積層做成捲

鐵心。根據該製造方法，不需要如以往之大規模的壓製步驟，且鋼板被細膩地彎折並維持鐵心形狀，加工應變也僅集中於彎曲部(角部)，因此也可省略上述藉退火步驟來去除應變，工業上之優點大，其應用持續擴展。

先前技術文獻

專利文獻

【0007】 專利文獻1：日本專利特開2001-192785號公報

專利文獻2：日本專利特開2005-240079號公報

專利文獻3：日本專利特開2012-052229號公報

專利文獻3：日本專利特開平6-89805號公報

專利文獻5：日本專利特開平8-134660號公報

專利文獻6：日本專利特開平10-183313號公報

專利文獻7：國際公開第2019/131974號

專利文獻8：日本專利特開2005-286169號公報

專利文獻9：日本專利特許第6224468號公報

專利文獻10：日本專利特開2018-148036號公報

專利文獻11：澳大利亞發明專利申請案公開第2012337260號說明書

【發明內容】

【0008】 發明欲解決之課題

本發明之目的在於提供一種捲鐵心，其係藉由下述方法製出者：事先將鋼板進行彎曲加工以形成曲率半徑為5mm以下之較小的撓曲區域，再將該經彎曲加工之鋼板積層做成捲鐵心；該捲鐵心經過改善而可抑制因鐵心形狀與所使用之鋼板的組合導致效率惡化的情形。

【0009】 用以解決課題之手段

本案發明人等詳細研討了變壓器鐵心的效率，該變壓器鐵心係藉由下述方

法製出者：事先將鋼板進行彎曲加工以形成曲率半徑為5mm以下之較小的撓曲區域，再將該經彎曲加工之鋼板積層做成捲鐵心。其結果認知到即便在將結晶方位之控制幾乎同等且以單板測定之磁通密度及鐵損也幾乎同等的鋼板當作胚料的情況下，鐵心效率有時仍會產生差異。

【0010】在探究其原因之後，得知會成為問題之效率差異係受到胚料之結晶粒徑的影響而產生。並且還得知依鐵心之尺寸形狀不同，現象的程度(亦即鐵心效率之差異)也會產生差別。若進一步詳細研討該現象，吾等推測其原因尤其在於撓曲所造成之鐵損劣化程度的差異。

在此觀點下，針對各種鋼板製造條件與鐵心形狀進行了研討，並將對鐵心效率之影響加以分類。其結果，獲得以下結果：藉由將利用特定製造條件所製出之鋼板當作特定尺寸形狀之鐵心胚料來使用，可將鐵心效率控制成與鋼板胚料之磁特性相應之最佳效率。

【0011】為了達成前述目的而作成之本發明，其主旨如下。

本發明一實施形態之捲鐵心具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

前述方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 $D_{px}(mm)$ 為 $2W$ 以下。

在此， D_{px} 為利用下述式(1)所求算之 D_p 的平均值；

$D_c(mm)$ 為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部

各自之邊界上，邊界線所延伸方向(以下記載為「邊界方向」)的平均結晶粒徑；

$Dl(mm)$ 為在前述邊界上，與邊界方向垂直之方向之平均結晶粒徑；

$W(mm)$ 為前述撓曲部在側面視角下的寬度。

又，前述 Dp 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 Dp 與外表面側的 Dp 、以及另一個前述平面部之內表面側的 Dp 與外表面側的 Dp 的平均值。

$$Dp = \sqrt{(Dc \times Dl / \pi)} \quad \dots (1)$$

【0012】 又，本發明之另一實施形態之捲鐵心具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

前述方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 $Dpy(mm)$ 為 $2W$ 以下。

在此， Dpy 為 Dl 的平均值；

$Dl(mm)$ 為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部各自之邊界上，與邊界方向垂直之方向之平均結晶粒徑；

$W(mm)$ 為前述撓曲部在側面視角下的寬度。

又，前述 Dl 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 Dl 與外表面側的 Dl 、以及另一個前述平面部之內表面側的 Dl 與外表面側的 Dl 的平均值。

【0013】又，本發明之又一實施形態為一種捲鐵心，具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

前述方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 D_{pz} (mm)為 $2W$ 以下。

在此， D_{pz} 為 D_c 的平均值；

D_c (mm)為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部各自之邊界上，邊界方向的平均結晶粒徑；

W (mm)為前述撓曲部在側面視角下的寬度。

又，前述 D_c 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 D_c 與外表面側的 D_c 、以及另一個前述平面部之內表面側的 D_c 與外表面側的 D_p 的平均值。

【0014】發明效果

根據本發明，在積層經彎曲加工之方向性電磁鋼板所形成之捲鐵心中，可有效抑制因鐵心形狀與所使用之鋼板的組合導致效率惡化的情形。

【圖式簡單說明】

【0015】圖1為示意顯示本發明捲鐵心之一實施形態的立體圖。

圖2為圖1之實施形態所示之捲鐵心的側視圖。

圖3為示意顯示本發明捲鐵心之另一實施形態的側視圖。

圖4為示意顯示1層方向性電磁鋼板之一例的側視圖，該方向性電磁鋼板係用以構成本發明之捲鐵心的鋼板。

圖5為示意顯示1層方向性電磁鋼板之另一例的側視圖，該方向性電磁鋼板係用以構成本發明之捲鐵心的鋼板。

圖6為示意顯示方向性電磁鋼板之撓曲部之一例的側視圖，該方向性電磁鋼板係用以構成本發明之捲鐵心的鋼板。

圖7為用以說明構成本發明捲鐵心之方向性電磁鋼板其結晶粒徑之測定方法的圖，(a)為重要部分之立體示意圖，(b)為重要部分之截面示意圖。

圖8為顯示實施例及比較例所製出之捲鐵心之尺寸參數的示意圖。

【實施方式】

【0016】 用以實施發明之形態

以下，依序詳細說明本發明之一實施形態之捲鐵心。惟，本發明並非僅限於本實施形態所揭示之構成，可在不脫離本發明主旨之範圍內進行各種變更。此外，在下述之數值限定範圍中，下限值及上限值被包含於該範圍內。顯示為「大於」或「小於」的數值，該值不包含在數值範圍內。又，有關化學組成之「%」只要無特別說明則意指「質量%」。

又，有關在本說明書中所使用之形狀、幾何學之條件以及用以特定其等之程度的譬如「平行」、「垂直」、「相同」、「直角」等用語、長度及角度之值等，不拘泥於嚴格意義而是包含可期待相同機能之程度的範圍來解釋。

又，在本說明書中，有時會將「方向性電磁鋼板」僅記載為「鋼板」或「電磁鋼板」，有時也會將「捲鐵心」僅記載為「鐵心」。

【0017】 本實施形態之捲鐵心之特徵在於具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

前述方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 $D_{px}(mm)$ 為 $2W$ 以下。

在此， $D_{px}(mm)$ 為利用下述式(1)所求算之 $D_p(mm)$ 的平均值；

$D_c(mm)$ 為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部各自之邊界上，邊界方向的平均結晶粒徑；

$D_l(mm)$ 為與前述邊界方向垂直之方向的平均結晶粒徑；

$W(mm)$ 為前述撓曲部在側面視角下的寬度。

又， D_p 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 D_p 與外表面側的 D_p 、以及另一個前述平面部之內表面側的 D_p 與外表面側的 D_p 的平均值。

$$D_p = \sqrt{(D_c \times D_l / \pi)} \quad \dots (1)$$

【0018】 1.捲鐵心及方向性電磁鋼板之形狀

首先，說明本實施形態之捲鐵心的形狀。在此所說明之捲鐵心及方向性電磁鋼板之形狀本身並非特別新穎之物。其只不過是依循例如在先前技術中作為專利文獻9~11所介紹之公知捲鐵心及方向性電磁鋼板的形狀。

圖1為示意顯示捲鐵心之一實施形態的立體圖。圖2為圖1之實施形態所示之捲鐵心的側視圖。並且，圖3為示意顯示捲鐵心之另一實施形態的側視圖。

此外，在本實施形態中，所謂側面視角係指在構成捲鐵心之長條狀方向性電磁鋼板的寬度方向(圖1中之Y軸方向)上觀看。所謂側視圖係顯示出自側面視角所

識別之形狀的圖(圖1之Y軸方向的圖)。

【0019】本實施形態之捲鐵心具備捲鐵心本體10，該捲鐵心本體10為在側面視角下複數片多角形環狀(矩形或多角形)之方向性電磁鋼板1在板厚方向上積層而成者。該捲鐵心本體10具有方向性電磁鋼板1在板厚方向上疊合且在側面視角下為多角形之積層結構2。該捲鐵心本體10可直接當作捲鐵心來使用，亦可視需求具備有捆束帶等公知的緊固件等以將所疊合之複數片方向性電磁鋼板1固定成一體。

【0020】在本實施形態中，捲鐵心本體10之鐵心長度並無特別限制。在鐵心中，即便鐵心長度改變，撓曲部5之體積仍為固定，因此在撓曲部5所產生之鐵損固定。鐵心長度越長，撓曲部5相對於捲鐵心本體10之體積率越變小，故對鐵損劣化之影響也小。由此，捲鐵心本體10之鐵心長度越長越好。捲鐵心本體10之鐵心長度宜為1.5m以上，且較佳為1.7m以上。此外，在本實施形態中，所謂捲鐵心本體10之鐵心長度係指藉側視之在捲鐵心本體10之積層方向的中心點的周長。

【0021】本實施形態之捲鐵心適合使用於迄今公知之所有用途上。尤其，藉由應用於鐵心效率會成為問題之送電變壓器用的鐵心，可發揮明顯優點。

【0022】如圖1及2所示，捲鐵心本體10具有在側面視角下為大致矩形之積層結構2，該積層結構2包含方向性電磁鋼板1在板厚方向上疊合之部分，該方向性電磁鋼板1係在長邊方向上第1平面部4與角落部3交替連續，且在該各角落部3中鄰接之2個第1平面部4所形成之角度為 90° 者。又，若採取其他看法，則圖1及2所示之捲鐵心本體10具有八角形之積層結構2。雖然本實施形態之捲鐵心本體10具有八角形之積層結構，但本發明不限於此，若捲鐵心本體係在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層，且該方向性電磁鋼板係在長邊方向(周方向)上平面部與撓曲部交替連續即可。

以下，將捲鐵心本體10定為具有4個角落部3之大致矩形者來加以說明。

方向性電磁鋼板1之各角落部3在側面視角下具有2個以上具曲線狀形狀的撓曲部5，且在相鄰之撓曲部5、5之間具有第2平面部4a。因此，角落部3為具備有2個以上撓曲部5與1個以上第2平面部4a之構成。而且，存在於一個角落部3中之2個撓曲部5、5各自的彎曲角度合計成為 90° 。

又，如圖3所示，方向性電磁鋼板1之各角落部3在側面視角下具有3個具曲線狀形狀之撓曲部5，在相鄰之撓曲部5、5之間具有第2平面部4a，並且，存在於一個角落部3中之3個撓曲部5、5、5各自的彎曲角度合計成為 90° 。

另外，各角落部3亦可具有4個以上撓曲部。此時，在相鄰之撓曲部5、5之間也具有第2平面部4a，並且，存在於一個角落部3中之4個以上撓曲部5各自的彎曲角度合計成為 90° 。亦即，本實施形態之各角落部3係配置在呈直角配置之鄰接的2個第1平面部4、4之間，且具有2個以上撓曲部5與1個以上第2平面部4a。

又，圖2所示之捲鐵心本體10係在第1平面部4與第2平面部4a之間配置有撓曲部5，圖3所示之捲鐵心本體10係在第1平面部4與第2平面部4a之間及2個第2平面部4a、4a之間分別配置有撓曲部5。亦即，第2平面部4a有時也會被配置在相鄰的2個第2平面部4a、4a之間。

並且，在圖2及圖3所示之捲鐵心本體10中，第1平面部4之長邊方向(捲鐵心本體10之周方向)的長度係較第2平面部4a之長邊方向長度更長，但第1平面部4與第2平面部4a之長度亦可相等。

此外，在本說明書中，有時也會將「第1平面部」及「第2平面部」各自僅記載為「平面部」。

方向性電磁鋼板1之各角落部3在側面視角下具有2個以上具曲線狀形狀的撓曲部5，且存在於一個角落部中之撓曲部各自的彎曲角度合計成為 90° 。角落部3係在相鄰的撓曲部5、5之間具有第2平面部4a。因此，角落部3係形成為具備有

2個以上撓曲部5與1個以上第2平面部4a之構成。

圖2之實施形態係在1個角落部3中具有2個撓曲部5的情況。圖3之實施形態係在1個角落部3中具有3個撓曲部5的情況。

【0023】如該等例子所示，在本實施形態中，1個角落部可藉由2個以上撓曲部來構成，而從抑制因加工時之變形所產生之應變來抑制鐵損的觀點，撓曲部5之彎曲角度 φ ($\varphi 1$ 、 $\varphi 2$ 、 $\varphi 3$)宜為 60° 以下，且較佳為 45° 以下。

在1個角落部具有2個撓曲部之圖2的實施形態中，從減少鐵損的觀點，譬如可設為 $\varphi 1=60^\circ$ 且 $\varphi 2=30^\circ$ ，或者設為 $\varphi 1=45^\circ$ 且 $\varphi 2=45^\circ$ 等。又，在1個角落部具有3個撓曲部之圖3的實施形態中，從減少鐵損的觀點，譬如可設為 $\varphi 1=30^\circ$ 、 $\varphi 2=30^\circ$ 且 $\varphi 3=30^\circ$ 等。更進一步從生產效率的觀點，彎折角度(彎曲角度)宜相等，因此在1個角落部具有2個撓曲部時，宜設為 $\varphi 1=45^\circ$ 且 $\varphi 2=45^\circ$ 。又，在1個角落部具有3個撓曲部之圖3的實施形態中，從減少鐵損的觀點，譬如宜設為 $\varphi 1=30^\circ$ 、 $\varphi 2=30^\circ$ 且 $\varphi 3=30^\circ$ 。

【0024】參照圖6來進一步詳細說明撓曲部5。圖6為示意顯示方向性電磁鋼板之撓曲部(曲線部分)之一例的圖。所謂撓曲部5之彎曲角度，意指在方向性電磁鋼板1之撓曲部5中，於彎折方向之後方側的直線部與前方側的直線部之間所產生的角度差，並且係以2條假想線Lb延長線1(Lb-elongation1)、Lb延長線2(Lb-elongation2)所形成之角的補角角度 φ 來表示，該等假想線為將方向性電磁鋼板1之外表面中、屬於包夾撓曲部5之兩側平面部4、4a之表面的直線部分延長而獲得的假想線。此時，延長之直線從鋼板表面脫離的點為平面部4、4a與撓曲部5在鋼板外表面側之表面上的邊界，於圖6中為點F及點G。

【0025】此外，從點F及點G各自延長與鋼板外表面垂直之直線，將該直線與鋼板內表面側之表面的交點各自定為點E及點D。該點E及點D為平面部4、4a與撓曲部5在鋼板內表面側之表面上的邊界。

並且，在本實施形態中，所謂撓曲部5係在方向性電磁鋼板1之側面視角下，由上述點D、點E、點F及點G所包圍之方向性電磁鋼板1的部位。在圖6中，係將點D與點E之間的鋼板表面、亦即撓曲部5之內側表面定為La來表示，且將點F與點G之間的鋼板表面、亦即撓曲部5之外側表面定為Lb來表示。

【0026】又，在圖6中顯示出撓曲部5之側面視角下之內表面側曲率半徑r(以下也會簡稱為曲率半徑r)。透過以通過點E及點D之圓弧將上述La作近似，可獲得撓曲部5之曲率半徑r。曲率半徑r越小，撓曲部5之曲線部分的彎曲程度越險急，曲率半徑r越大，撓曲部5之曲線部分的彎曲程度越平緩。

在本實施形態之捲鐵心中，在板厚方向上積層之各方向性電磁鋼板1中，各撓曲部5之曲率半徑r亦可具有某程度的變動。此變動有時係因成形精度所致之變動，亦可推測係在積層時的處理等中發生非刻意之變動。如上述之非刻意之誤差若在現在之一般工業製造中可抑制到0.2mm左右以下。當如上述之變動大時，可藉由針對數量夠多的鋼板測定曲率半徑並加以平均來獲得代表的值。又，亦可推測係因某種理由而刻意使其改變，本實施形態並未排除如所述這般之形態。

【0027】此外，撓曲部5之內表面側曲率半徑r之測定方法亦無特別限制，譬如可藉由使用市售之顯微鏡(Nikon ECLIPSE LV150)在200倍下進行觀察來測定。具體而言，係從觀察結果求出如圖6所示之曲率中心A點，作為該求算方式，例如若使線段EF與線段DG往與點B為相反側之內側延長而將其等的交點規定為A，則內表面側曲率半徑r的大小就相當於線段AC之長度。在此，在以直線連結點A與點B時，將該直線與撓曲部5之內表面側之圓弧DE的交點定為點C。

在本實施形態中，係藉由設為使用了特定之方向性電磁鋼板之捲鐵心，而可使捲鐵心效率成為與磁特性相應之最佳效率，該特定之方向性電磁鋼板係將撓曲部5之內表面側曲率半徑r設為1mm以上且5mm以下之範圍，且下述說明之結

晶粒徑已被控制者。撓曲部5之內表面側曲率半徑 r 宜為3mm以下。此時，可更明顯發揮本實施形態之效果。

並且，最佳形態為存在於鐵心內之所有撓曲部皆滿足本實施形態所規定之內表面側曲率半徑 r 。當在捲鐵心中存在滿足本實施形態之內表面側曲率半徑 r 的撓曲部與未滿足該內表面側曲率半徑 r 的撓曲部時，所期望之形態為至少半數以上的撓曲部滿足本實施形態所規定之內表面側曲率半徑 r 。

【0028】圖4及圖5為示意顯示在捲鐵心本體10中之1層方向性電磁鋼板1之一例的圖。如圖4及圖5之例所示，本實施形態所使用之方向性電磁鋼板1係經彎折加工者，其具有由2個以上撓曲部5所構成之角落部3與第1平面部4，並且透過1個以上的接合部6來形成在側面視角下為大致矩形的環，該接合部6為方向性電磁鋼板1之長邊方向的端面。

在本實施形態中，捲鐵心本體10若以整體而言具有側面視角為大致矩形之積層結構2即可。其可如圖4之例所示這般為1片方向性電磁鋼板1透過1個接合部6構成捲鐵心本體10之1層者(亦即，在每一圈透過1處之接合部6來連接1片方向性電磁鋼板1)，亦可如圖5之例所示這般為1片方向性電磁鋼板1構成捲鐵心之大約半周，且2片方向性電磁鋼板1透過2個接合部6構成捲鐵心本體10之1層者(亦即，在每一圈透過2處之接合部6來將2片方向性電磁鋼板1互相連接)。

【0029】在本實施形態中所使用之方向性電磁鋼板1的板厚並無特別限定，只要因應用途等來適當選擇即可，通常係在0.15mm~0.35mm之範圍內，且宜為0.18mm~0.23mm之範圍。

【0030】 2.方向性電磁鋼板之構成

接著，說明用以構成捲鐵心本體10之方向性電磁鋼板1之構成。在本實施形態中，特徵在於：鄰接積層之方向性電磁鋼板之與撓曲部5鄰接之平面部4、4a的結晶粒徑、及控制結晶粒徑後之方向性電磁鋼板在鐵心內之配置部位。

【0031】 (1)與撓曲部鄰接之平面部的結晶粒徑

用以構成本實施形態之捲鐵心的方向性電磁鋼板1係被控制成至少在角落部的一部分中所積層之鋼板的結晶粒徑變小。撓曲部5附近之結晶粒徑若變得粗大，便不會展現出在具有本實施形態中之鐵心形狀的鐵心中之避免效率劣化的效果。換言之，係表示藉由在撓曲部5附近配置結晶晶界，容易抑制效率劣化。

【0032】 雖然產生所述現象之機制尚不明確，但吾等認為如下。

關於本實施形態定為對象之鐵心，藉彎曲所致之巨觀的應變(變形)係被限制在非常狹窄的區域即撓曲部5內。然而，吾等認為關於微觀之應變若作為鋼板內部之結晶組織來加以觀察，則在撓曲部5所形成之差排也會移動到撓曲部5之外側、亦即平面部4、4a並擴散。可認為此時在以本實施形態之鐵心而言被設想為胚料之結晶粒徑達數mm之方向性電磁鋼板中，結晶晶界會作為阻礙差排移動之強力障礙來發揮作用，而差排之移動幾乎被限定於可視為一個單晶之一個晶粒內。亦即，可認為不會有跨越結晶晶界而在鄰接之晶粒內生成差排的情況。一般已知差排等的晶格缺陷會使鐵損明顯劣化。因此，藉由使撓曲部附近之結晶粒徑微細化，並使結晶晶界作為阻礙差排往平面部移動之障礙(差排之消失部位)來發揮功用，可使差排之存在區域停留於撓曲部5的極附近。吾等認為藉此可抑制鐵心效率的降低。如上述之本實施形態之作用機制可推測係在本實施形態定為對象之特定形狀的鐵心中之特別現象，至今幾乎並未被考慮，但可做與本案發明人等所獲得之知識見解一致的解釋。

【0033】 在本實施形態中，結晶粒徑係如以下方式測定。

令捲鐵心本體10之鋼板積層厚度為T(相當於圖8所示之「L3」)時，從捲鐵心本體10之包含角落部的區域的最內表面起，抽取包含最內表面且在每T/4位置所積層之合計5片的方向性電磁鋼板。所抽取之各鋼板若在鋼板表面具有由氧化物等所形成之一次被膜(玻璃被膜、中間層)、絕緣被膜等，係利用公知方法將該等

去除之後，再如圖7(a)所示這般以目視觀察鋼板之內表面側之表面及外表面側之表面的結晶組織。然後，在於各表面中呈大致直線之撓曲部與平面部之邊界線B上，以下述方式測定該邊界方向(邊界線B延伸之方向(方向性電磁鋼板之軋延直角方向))之粒徑、與垂直於該邊界方向之方向(邊界垂直方向(方向性電磁鋼板之軋延方向))的粒徑。

關於邊界方向之粒徑 D_c (mm)，係如圖7(a)之示意圖所示這般例如令邊界線B之長度(相當於構成鐵心之方向性電磁鋼板1的寬度)為 L_c ，且令與邊界線B相交之結晶晶界的數量為 N_c 時，根據下述式(2)來求算。

$$D_c = L_c / (N_c + 1) \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

另外，關於邊界垂直方向(垂直於邊界方向之方向)的粒徑 D_l (mm)，係在邊界線B之延伸方向(邊界方向)上，將 L_c 分割成6份之位置當中，於端部除外之5處上，以一側的撓曲部5與第1平面部4之邊界線B當作起點，往第1平面部4區域之方向垂直於邊界線B地直線延伸，將自該邊界線B起至該延伸線最初與結晶晶界相交為止的距離設為第1平面部4中之 $D_{l1} \sim D_{l5}$ 。並且，以一側的撓曲部5與第2平面部(角落部內之平面部)4a之邊界線B當作起點，往第2平面部4a區域之方向垂直於邊界線B地直線延伸，將自該邊界線B起至該延伸線最初與結晶晶界相交為止的距離、或至該延伸線與夾著第2平面部4a而相鄰之另一側的撓曲部5的邊界線B相交為止的距離設為第2平面部中之 $D_{l1} \sim D_{l5}$ 。針對另一側的撓曲部5，也以同樣方式分別求算第1平面部4及第2平面部4a中之 $D_{l1} \sim D_{l5}$ 。然後，以該等 $D_{l1} \sim D_{l5}$ 加以平均後之距離來求算邊界垂直方向之粒徑 D_l 。

並且，根據下述式(1)來求算與撓曲部5鄰接之第1平面部4及第2平面部4a之圓等效結晶粒徑 D_p (mm)。

$$D_p = \sqrt{(D_c \times D_l / \pi)} \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

此外，如圖7(b)之示意圖所示這般對第2平面部4a之內表面側之結晶粒徑附

加尾綴ii且對外表面側之結晶粒徑附加io，對第1平面部4之內表面側之結晶粒徑附加尾綴oi且對外表面側之結晶粒徑附加oo。如所述這般，對於一個撓曲部5決定出(Dc、Dl、Dp)-(ii、io、oi、oo)之12個結晶粒徑(Dcii、Dcio、Dcoi、Dcoo、Dlii、Dlio、Dloi、Dloo、Dpii、Dpio、Dpoi、Dpoo)。然後，針對存在於各角落部中之2個以上(例如在圖2所示之捲鐵心本體10中為2個，在圖3所示之捲鐵心本體10中為3個)的撓曲部5，將上述12個結晶粒徑各自平均，從而對於各角落部決定出(Dc、Dl、Dp)-(ii、io、oi、oo)之12個結晶粒徑。

另外，一般來說，方向性電磁鋼板具有數mm大小之與鋼板板厚相較之下非常粗大的結晶粒徑。因此，在板厚截面之觀察中，大多會有一個晶粒從鋼板一側的表面(例如本實施形態中之內表面側)柱狀地貫通到另一側的表面(例如本實施形態中之外表面側)的情況。所以，如上述這般在內表面側與外面側所測定之結晶粒徑會成為幾乎相同大小的結晶粒徑，但現實上有時也有不會貫通板厚之程度的微細晶粒殘留於表層的情形，故在本實施形態中係針對鋼板兩面進行結晶粒徑之測定，並以其平均值來規定本實施形態之捲鐵心。

在本實施形態中，係藉由與撓曲部5之寬度W(mm)之比較來規定該等結晶粒徑。在本實施形態中，撓曲部5之寬度W係設為撓曲部5之內側表面La(參照圖6)之長度(撓曲方向之長度)與撓曲部5之外側表面Lb(參照圖6)之長度(撓曲方向之長度)的平均值。

【0034】 在本實施形態的一個實施形態中，特徵在於：在至少一個角落部3中，令Dp-(ii、io、oi、oo)之平均值為Dpx(mm)，且 $Dpx \leq 2W$ 。該規定係與上述所說明之機制的基本特徵相對應。藉由滿足該規定，可使結晶晶界作為阻礙在撓曲部5所產生之差排往第1平面部4及第2平面部4a側移動之障礙來發揮功用，結果便可展現出本實施形態之效果。W之2倍成為Dpx之上限的原因在於：在撓曲部5所產生之差排頂多只會移動到變形區域的2倍左右，即便Dpx大於2W

也難以成為阻礙差排移動的障礙。較佳為 $D_{px} \leq W$ 。而且，當然宜在存在於捲鐵心本體10中之4個角落部中皆滿足 $D_{px} \leq 2W$ 。

【0035】作為另一個實施形態，特徵在於：在至少一個角落部3中，令 D_{l-} (ii、io、oi、oo)之平均值為 D_{py} (mm)，且 $D_{py} \leq 2W$ 。若考慮到上述所說明之機制，此規定尤其係對應以下特徵：相較於與朝向第1平面部4及第2平面部4a之方向(垂直於撓曲部邊界的方向)平行存在之結晶晶界，以與朝向第1平面部4及第2平面部4a之方向(垂直於撓曲部5中之邊界方向的方向)相交的方式存在之結晶晶界更容易作為阻礙差排往各平面部方向移動之障礙來發揮作用。藉由滿足該規定，可充分抑制差排往平面部區域移動。較佳為 $D_{py} \leq W$ 。而且，當然宜在存在於捲鐵心本體10中之4個角落部中皆滿足 $D_{py} \leq 2W$ 。

【0036】作為再另一個實施形態，特徵在於：在至少一個角落部3中，令 D_{c-} (ii、io、oi、oo)之平均值為 D_{pz} (mm)，且 $D_{pz} \leq 2 \cdot W$ 。該規定係對應以下特徵：即便為與朝向第1平面部4及第2平面部4a之方向(與撓曲部邊界垂直之方向)平行存在之結晶晶界，仍容易作為往第1平面部4及第2平面部4a之方向移動之差排的消滅部位發揮作用。藉由滿足該規定，可充分抑制差排往平面部區域移動。較佳為 $D_{pz} \leq W$ 。而且，當然宜在存在於捲鐵心本體10中之4個角落部中皆滿足 $D_{pz} \leq 2W$ 。

【0037】(2)方向性電磁鋼板

如上述，在本實施形態中所使用之方向性電磁鋼板1中，母鋼板係該母鋼板中之晶粒方位高度聚集於 $\{110\}\langle 001 \rangle$ 方位之鋼板，且係在軋延方向具有優異磁特性者。

在本實施形態中，母鋼板可使用公知之方向性電磁鋼板。以下，說明較佳母鋼板之一例。

【0038】母鋼板之化學組成以質量%計含有Si：2.0%~6.0%，且剩餘部

分由Fe及不純物所構成。該化學組成係為了控制成使結晶方位聚集於{110}<001>方位之Goss集合組織，以確保良好磁特性。其他元素並無特別限定，在本實施形態中，除了含有Si、Fe及不純物以外，還可含有不會阻礙本發明效果之範圍的元素。例如，可容許取代一部分的Fe而按以下範圍含有下述元素。代表性的選擇元素之含有範圍如下。

C：0~0.0050%、

Mn：0~1.0%、

S：0~0.0150%、

Se：0~0.0150%、

Al：0~0.0650%、

N：0~0.0050%、

Cu：0~0.40%、

Bi：0~0.010%、

B：0~0.080%、

P：0~0.50%、

Ti：0~0.0150%、

Sn：0~0.10%、

Sb：0~0.10%、

Cr：0~0.30%、

Ni：0~1.0%、

Nb：0~0.030%、

V：0~0.030%、

Mo：0~0.030%、

Ta：0~0.030%、

W：0~0.030%。

該等選擇元素只要因應其目的來含有即可，因此無須限制下限值，亦可實質上不含有。又，即便係作為不純物含有該等選擇元素，也不會損及本實施形態之效果。另外，由於以實用鋼板而言在製造上難以將C含量設為0%，因此C含量可設為大於0%。再者，不純物係指非刻意含有之元素，意指在工業製造母鋼板時，從作為原料之礦石、廢料或從製造環境等混入之元素。不純物之合計含量的上限例如為5%即可。

【0039】 母鋼板之化學成分只要利用鋼之一般分析方法來測定即可。例如，母鋼板之化學成分使用感應耦合電漿原子發射光譜法(ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry))來測定即可。具體而言，例如可藉由從去除被膜後之母鋼板的中央位置取得35mm見方之試驗片，並利用島津製作所製ICPS-8100等(測定裝置)在根據事先做成之檢量線的條件下進行測定來予以特定。此外，C及S係採用燃燒-紅外線吸收法來測定，N採用非活性氣體溶解-熱傳導率法來測定即可。

【0040】 又，上述化學組成係作為母鋼板之方向性電磁鋼板1的成分。當會成為測定試樣之方向性電磁鋼板1的表面具有由氧化物等構成之一次被膜(玻璃被膜、中間層)、絕緣被膜等時，係在以公知方法去除該等之後測定化學組成。

【0041】 (3)方向性電磁鋼板之製造方法

方向性電磁鋼板之製造方法並無特別限定，可藉由如後述這般嚴密控制製造條件來精心製作鋼板之結晶粒徑。藉由使用如所述之具有所欲結晶粒徑之方向性電磁鋼板，並且利用後述之適當加工條件來製造捲鐵心，可獲得能抑制鐵心之效率劣化之捲鐵心。作為製造方法之較佳具體例，譬如首先在將扁胚加熱至1000℃以上並進行熱軋延之後，在400~850℃下進行捲取，前述扁胚係將C設為

0.04~0.1質量%、其他則具有上述方向性電磁鋼板之化學組成者。並且，視需求來進行熱軋板退火。熱軋板退火之條件並無特別限定，從控制析出物的觀點，可設為退火溫度：800~1200°C、退火時間：10~1000秒。接著，藉由1次的冷軋或間隔著中間退火之2次以上的冷軋來獲得冷軋鋼板。從控制集合組織的觀點，此時之冷軋率可設為80~99%。將該冷軋鋼板在例如濕氫-非活性氣體環境中加熱至700~900°C進行脫碳退火，且視需求更進一步進行氮化退火。然後，在退火後之鋼板上塗佈退火分離劑之後，在最高到達溫度：1000°C~1200°C、40~90小時下進行精加工退火，並在900°C左右形成絕緣皮膜。在上述各條件之中，脫碳退火與精加工退火尤其會影響鋼板的結晶粒徑。因此，在製造捲鐵心時，宜使用在上述條件之範圍內製造之方向性電磁鋼板。

又，就算是在鋼板之製造步驟中以公知方法施行一般被稱為「磁域控制」之處理後的鋼板也能享受本實施形態之效果。

【0042】如上述，本實施形態所使用之方向性電磁鋼板1的特徵、亦即結晶粒徑，宜藉由例如精加工退火之最高到達溫度與時間來調整。藉由如所述這般事先將鋼板整體之平均結晶粒徑縮小，並使各結晶粒徑成為上述之2W以下，當在製造捲鐵心時撓曲部5形成於任意位置時，也可期待上述之Dpx等會成為2W以下。或者，為了要製造在撓曲部5附近配置有結晶粒徑小之晶粒之捲鐵心，控制彎折鋼板之位置以使結晶粒徑小之區域被配置於撓曲部5附近的方法也很有效。在該方法中，亦可因應在鋼板製造之時間點局部變更退火分離劑之狀態等公知方法來製造局部抑制了二次再結晶之晶粒成長的鋼板，然後選擇成為微細晶粒之處來進行彎折加工。

【0043】 3.捲鐵心之製造方法

關於本實施形態之捲鐵心之製造方法，若能製造前述之本實施形態之捲鐵心則無特別限制，例如應用依循在先前技術中作為專利文獻9~11來介紹之公知

捲鐵心的方法即可。尤其，可以說最佳為使用 AEM UNICORE 公司之 UNICORE(<https://www.aemcores.com.au/technology/unicore/>)製造裝置的方法。

此外，從要細膩控制上述 D_{px} 、 D_{py} 及 D_{pz} 的觀點，宜控制在加工時所使用之衝頭與衝模的形狀及藉加工生熱所帶來的鋼板溫度上升量。具體而言，在令所使用之衝頭的曲率半徑為 $r_p(\text{mm})$ 且令衝模的曲率半徑為 $r_d(\text{mm})$ 時，宜使 r_p/r_d 落在 2.0~10.0 的範圍內。另外，令藉加工生熱所帶來的鋼板溫度上升量為 ΔT 時， ΔT 宜抑制在 4.8°C 以下。 ΔT 若過大，即便使用具有適當範圍之結晶粒徑的鋼板作為胚料，結晶粒徑仍會粗大化，捲鐵心之鐵心效率恐會降低。作為冷卻方法並無特別限定，譬如可在加工的當中或在加工之後立即吹送液態氮等的冷媒來進行鋼板溫度的調整。

【0044】亦可更進一步依循公知方法來視需求實施熱處理。又，所獲得之捲鐵心本體 10 可直接當作捲鐵心來使用，亦可進一步視需求使用捆束帶等公知的緊固件等來將所疊合之複數片方向性電磁鋼板 1 固定成一體而做成捲鐵心。

【0045】本實施形態不限於上述實施形態。上述實施形態為範例，實質上具有與本發明之申請專利範圍中記載之技術思想相同構成而會發揮相同作用效果者，不論何者皆包含於本發明之技術範圍內。

【0046】 實施例

以下，將舉本發明之實施例，同時進一步說明本發明之技術內容。以下所示實施例中之條件係用以確認本發明之可實施性及效果而採用的條件例，本發明不限於該條件例。又，只要不脫離本發明之主旨且可達成本發明之目的，則本發明可採用各種條件。

【0047】 (方向性電磁鋼板)

將具有表 1 所示化學組成(質量%，所示以外的剩餘部分為 Fe)之扁胚當作胚料，來製造具有表 2 所示化學組成(質量%，所示以外的剩餘部分為 Fe)之最終製品

(製品板)。所製得之鋼板的寬度為1200mm。

在表1及表2中，「-」意指未有意識地控制含量及進行製造而未實施含量之測定的元素。又，「<0.002」及「<0.004」意指以下元素：雖然有意識地控制含量及實施了製造，並實施了含量之測定，但是無法獲得精度之可信度充足的測定值(檢測極限以下)的元素。

【0048】 [表1]

鋼種類	扁胚								
	C	Si	Mn	S	Al	N	Cu	Bi	Nb
A	0.070	3.26	0.07	0.025	0.026	0.008	0.07	-	-
B	0.070	3.26	0.07	0.025	0.026	0.008	0.07	-	0.007
C	0.070	3.26	0.07	0.025	0.025	0.008	0.07	0.002	-
D	0.060	3.45	0.10	0.006	0.027	0.008	0.20	-	0.005

【0049】 [表2]

鋼種類	製品板								
	C	Si	Mn	S	Al	N	Cu	Bi	Nb
A	0.001	3.15	0.07	<0.002	<0.004	<0.002	0.07	-	-
B	0.001	3.15	0.07	<0.002	<0.004	<0.002	0.07	-	0.005
C	0.001	3.15	0.07	<0.002	<0.004	<0.002	0.07	0.002	-
D	0.001	3.34	0.10	<0.002	<0.004	<0.002	0.20	-	-

【0050】 此外，鋼板之製造步驟及條件之詳細內容如表3所示。

具體而言，係實施熱軋延、熱軋板退火及冷軋延。關於其一部分，係在氫-氮-氮之混合氣體環境下對脫碳退火後之冷軋鋼板施行了氮化處理(氮化退火)。

並且進一步塗佈以MgO作為主成分之退火分離劑，施行精加工退火。在形成於精加工退火鋼板之表面的一次被膜上，塗佈以磷酸鹽與膠體狀氧化矽為主體且含鉻之絕緣被膜塗敷溶液，並將其進行熱處理，形成絕緣被膜。

【0051】 此時，係藉由調整冷軋率或精加工退火的時間來製造經控制結晶

粒徑之鋼板。所製造之鋼板的詳細內容列示於表3。

【0052】 [表3]

鋼板 No.	鋼種 類	熱軋延				熱軋板退火		冷軋延		脫碳退火		氮化	精加工退火		特性		
		加熱 溫度 °C	精加工 溫度 °C	捲取 溫度 °C	板厚 mm	溫度 °C	時間 秒	板厚 mm	冷軋率 %	溫度 °C	時間 秒		有	溫度 °C	時間 小時	B8	鐵損 W/kg
A1	A	1150	900	540	3.0	1100	180	0.35	88.3	830	180		1100	45	1.91	1.01	6
A2	A	1150	900	540	3.1	1100	180	0.35	88.7	830	180	有	1100	50	1.91	0.95	8
A3	A	1150	900	540	3.2	1100	180	0.35	89.1	830	180	有	1100	55	1.92	0.93	13
A4	A	1150	900	540	3.3	1100	180	0.35	89.4	830	180	有	1100	60	1.91	0.94	18
B1	B	1150	880	650	2.2	1150	180	0.23	89.5	850	180	有	1100	45	1.90	0.77	7
B2	B	1150	880	650	2.3	1150	180	0.23	90.0	850	180	有	1100	50	1.91	0.77	11
B3	B	1150	880	650	2.4	1150	180	0.23	90.4	850	180	有	1100	55	1.92	0.72	18
B4	B	1150	880	650	2.5	1150	180	0.23	90.8	850	180	有	1100	60	1.92	0.78	21
C1	C	1150	900	750	2.5	1100	120	0.26	89.6	860	180	有	1150	55	1.90	0.81	6
C2	C	1150	900	750	2.6	1100	120	0.26	90.0	860	180	有	1150	60	1.92	0.79	9
C3	C	1150	900	750	2.7	1100	120	0.26	90.4	860	180	有	1150	65	1.94	0.77	14
C4	C	1150	900	750	2.8	1100	120	0.26	90.7	860	180	有	1150	70	1.93	0.83	18
D1	D	1350	930	540	2.5	1050	180	0.26	89.6	860	180	無	1100	65	1.91	0.80	5
D2	D	1350	930	540	2.6	1050	180	0.26	90.0	860	180	無	1100	70	1.92	0.72	8
D3	D	1350	930	540	2.7	1050	180	0.26	90.4	860	180	無	1100	75	1.94	0.70	12
D4	D	1350	930	540	2.8	1050	180	0.26	90.7	860	180	無	1100	80	1.93	0.73	16

【0053】(鐵心)

將各鋼板當作胚料，製造出具有表4及圖8所示形狀之鐵心、亦即鐵芯No.a~f。此外，L1為在平行於X軸方向且包含中心CL之平截面中，位於捲鐵心最內周的互相平行之方向性電磁鋼板1之間的距離(內表面側平面部之間的距離)，L2為在平行於Z軸方向且包含中心CL之縱截面中，位於捲鐵心最內周的互相平行之方向性電磁鋼板1之間的距離(內表面側平面部之間的距離)，L3為在平行於X軸方向且包含中心CL之平截面中的捲鐵心之積層厚度(積層方向之厚度)，L4為在平行於X軸方向且包含中心CL之平截面中的捲鐵心之積層鋼板寬度，L5為捲鐵心最內部之彼此相鄰且以會合時會形成直角之方式配置的平面部之間的距離(撓曲部之間的距離)。換言之，L5為最內周之方向性電磁鋼板的平面部4、4a中長度最短的平面部4a的長邊方向長度。r為捲鐵心之內表面側之撓曲部的曲率半徑(mm)， φ 為捲鐵心之撓曲部的彎曲角度(°)。大致矩形之鐵心鐵芯No.a~f係呈2個鐵心締結之結構，該2個鐵心係內表面側平面部距離為L1之平面部在距離L1之幾乎中央作分割、且具有「大致C字」形狀者。

在此，鐵芯No.f之鐵心係一直以來作為一般捲鐵心利用之所謂筒型鐵芯(トランココア)形態之鐵心，此形態之鐵心係利用以下方法製造：將鋼板捲取成筒狀之後，直接將筒狀積層體進行壓製而形成為大致矩形，以使角落部成為固定曲率，然後再藉由進行退火來維持形狀。因此，撓曲部之曲率半徑會依鋼板之積層位置不同而大幅變動。又，在表4中，鐵芯No.f之曲率半徑r(mm)會隨著越往外側而增加，在最內周部為6mm，在最外周部為約85mm(在表4中標記為「-」)。

【0054】 [表4]

鐵芯 No.	鐵芯形狀						
	L1	L2	L3	L4	L5	r	ϕ
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	°
a	197	66	45	150	16	1	45
b	197	66	45	150	18	3	45
c	197	66	45	150	20	5	45
d	197	66	55	150	20	2	30
e	197	66	55	150	22	6	45
f	197	66	55	150	—	30	90

【0055】 (評估方法)

(1)方向性電磁鋼板之磁特性

方向性電磁鋼板之磁特性係根據JIS C 2556：2015所規定之單板磁特性試驗法(Single Sheet Tester：SST)進行了測定。

作為磁特性，係測定以800A/m激磁時之鋼板軋延方向之磁通密度B8(T)、與在交流頻率：50Hz、激磁磁通密度：1.7T下之鋼板鐵損。

(2)在鐵心中之粒徑

如前述，透過觀察從鐵心抽取之鋼板的兩表面，來求出12個結晶粒徑(Dcii、Dcio、Dcoi、Dcoo、Dlii、Dlio、Dloi、Dloo、Dpii、Dpio、Dpoi、Dpoo)。

(3)鐵心之效率

針對將各鋼板當作胚料之鐵心求算無載損失，並取其與在(1)中所求算之鋼板之磁特性的比，藉此求出建構因數(BF；building factor)。在此，所謂的BF，係將捲鐵心之鐵損值除以捲鐵心胚料即方向性電磁鋼板之鐵損值所得之值。BF越

小代表捲鐵心相對於胚料鋼板之鐵損越減少。此外，在本實施例中係將BF為1.15以下之情況評估為成功抑制了鐵損效率惡化。

【0056】 評估使用磁域寬度不同之各種鋼板所製出之各種鐵心的效率。將結果列示於表5。另，表5中之「 r_p/r_d 」代表在加工鐵心時所使用之衝頭的曲率半徑 $r_p(\text{mm})$ 與衝模的曲率半徑 $r_d(\text{mm})$ 之比，「 ΔT 」代表藉加工時之發熱所帶來的鋼板溫度上升量($^{\circ}\text{C}$)。

可知即便採用了相同鋼種類，藉由適當控制結晶粒徑仍可提升鐵心之效率。

【0057】 [表5]

試驗 No.	鋼板 No.	鐵芯 No.	加工條件		鐵心特性					備註
			r_p/r_d	ΔT (°C)	W	Dpx	Dpy	Dpz	建構 因數	
					mm	mm	mm	mm		
1-1	A1	a	6.3	0.7	0.98	0.97	1.72	1.65	1.08	發明例
1-2	A2	a	5.2	1.0	0.98	1.15	1.82	2.04	1.11	發明例
1-3	A3	a	1.4	6.7	0.98	2.30	4.05	3.71	1.17	比較例
1-4	A4	a	1.7	5.7	0.98	3.18	4.53	4.91	1.18	比較例
1-5	B1	a	4.6	1.3	0.98	0.95	1.57	1.41	1.08	發明例
1-6	B2	a	10.0	0.8	0.98	1.55	2.45	2.88	1.14	發明例
1-7	B3	a	1.2	5.2	0.98	3.08	4.82	4.96	1.18	比較例
1-8	B4	a	0.7	6.1	0.98	3.41	5.44	5.69	1.19	比較例
1-9	C1	a	2.0	2.2	0.98	1.03	1.72	1.64	1.09	發明例
1-10	C2	a	3.4	1.7	0.98	1.38	2.41	1.95	1.10	發明例
1-11	C3	a	0.8	6.7	0.98	2.10	3.87	3.46	1.18	比較例
1-12	C4	a	1.3	7.8	0.98	2.87	5.27	4.61	1.19	比較例
1-13	D1	a	8.6	4.8	0.98	0.73	1.15	1.21	1.07	發明例
1-14	D2	a	6.7	0.3	0.98	1.10	2.08	1.61	1.11	發明例
1-15	D3	a	9.3	1.6	0.98	1.93	3.05	3.35	1.13	發明例
1-16	D4	a	1.7	5.5	0.98	2.91	4.68	4.20	1.18	比較例
1-17	A1	b	8.4	2.0	1.76	0.98	1.53	1.74	1.07	發明例
1-18	A4	b	6.7	0.3	1.76	3.22	4.67	5.26	1.15	發明例
1-19	B1	b	9.3	1.6	1.76	0.94	1.66	1.39	1.06	發明例
1-20	B4	b	6.7	1.9	1.76	3.55	5.37	6.34	1.19	比較例
1-21	C1	c	2.0	2.2	2.61	1.15	1.89	1.64	1.05	發明例
1-22	C4	c	3.4	1.7	2.61	3.13	5.04	5.45	1.11	發明例
1-23	D1	d	2.0	0.6	1.21	0.87	1.49	1.24	1.08	發明例
1-24	D4	d	1.5	5.0	1.21	2.58	4.13	5.01	1.18	比較例
1-25	C1	e	2.0	2.2	3.32	1.01	1.74	1.80	1.18	比較例
1-26	C3	e	3.4	1.7	3.32	2.13	3.71	3.82	1.17	比較例
1-27	D1	e	0.8	6.7	3.32	0.83	1.37	1.29	1.18	比較例
1-28	D3	e	1.3	7.8	3.32	1.92	3.31	3.12	1.16	比較例
1-29	A1	f	8.6	2.0	47.33	1.06	1.81	1.72	1.16	比較例
1-30	A3	f	6.7	0.3	47.33	2.20	4.12	3.88	1.16	比較例
1-31	B1	f	9.3	1.6	47.33	0.88	1.55	1.43	1.17	比較例
1-32	B3	f	6.7	0.3	47.33	2.66	4.68	4.83	1.18	比較例

【0058】 根據以上結果明白可知，本發明之捲鐵心由於所積層之方向性電磁鋼板的結晶粒徑 D_{px} 、 D_{py} 及 D_{pz} 各自為 $2W$ 以下，所以具備低鐵損之特性。

【0059】 產業上之可利用性

根據本發明，在積層經彎曲加工之鋼板所形成之捲鐵心中，可有效抑制鐵心效率惡化的情形。

【符號說明】

【0060】

1:方向性電磁鋼板

2:積層結構

3:角落部

4:第1平面部(平面部)

4a:第2平面部(平面部)

5:撓曲部

6:接合部

10:捲鐵心本體

A:曲率中心

B,D,E,F,G:點(圖6)

B:邊界線(圖7(a))

C:交點

CL:中心

D11~D15:邊界垂直方向之粒徑

ii,io,oi,oo:各平面部之內外面側的結晶粒徑

La:撓曲部之內側表面

Lb:撓曲部之外側表面

Lc:邊界線長度

L1:內表面側平面部之間的距離

L2:內表面側平面部之間的距離

L3:積層厚度(積層方向之厚度)

L4:積層鋼板寬度

L5:最內部平面部之間的距離(撓曲部之間的距離)

r:內表面側曲率半徑

$\varphi, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$:彎曲角度

X,Y,Z:三軸方向

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種捲鐵心，特徵在於：其具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

前述方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 $D_{px}(mm)$ 為 $2W$ 以下；

在此， $D_{px}(mm)$ 為利用下述式(1)所求算之 $D_p(mm)$ 的平均值；

$D_c(mm)$ 為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部各自之邊界上，邊界線所延伸方向的平均結晶粒徑；

$D_l(mm)$ 為在前述邊界上，與前述邊界線所延伸方向垂直之方向的平均結晶粒徑；

$W(mm)$ 為前述撓曲部在側面視角下的寬度；

又，前述 D_p 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 D_p 與外表面側的 D_p 、以及另一個前述平面部之內表面側的 D_p 與外表面側的 D_p 的平均值；

$$D_p = \sqrt{(D_c \times D_l / \pi)} \quad \dots \quad (1)。$$

【請求項2】 一種捲鐵心，特徵在於：其具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 D_{py} (mm)為 $2W$ 以下；

在此， D_{py} 為 D_l 的平均值；

D_l (mm)為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部各自之邊界上，與邊界線所延伸方向垂直之方向之平均結晶粒徑；

W (mm)為前述撓曲部在側面視角下的寬度；

又，前述 D_l 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 D_l 與外表面側的 D_l 、以及另一個前述平面部之內表面側的 D_l 與外表面側的 D_l 的平均值。

【請求項3】 一種捲鐵心，特徵在於：其具備捲鐵心本體，該捲鐵心本體為在側面視角下複數片多角形環狀之方向性電磁鋼板在板厚方向上積層而成者；

方向性電磁鋼板係在長邊方向上平面部與撓曲部交替連續；

前述撓曲部之側面視角下之內表面側曲率半徑 r 為1mm以上且5mm以下；

前述方向性電磁鋼板具有以下化學組成：

以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe及不純物所構成；

該方向性電磁鋼板具有於Goss方位定向之集合組織；並且，

在至少一個前述撓曲部中，所積層之前述方向性電磁鋼板的結晶粒徑 D_{pz} (mm)為 $2W$ 以下；

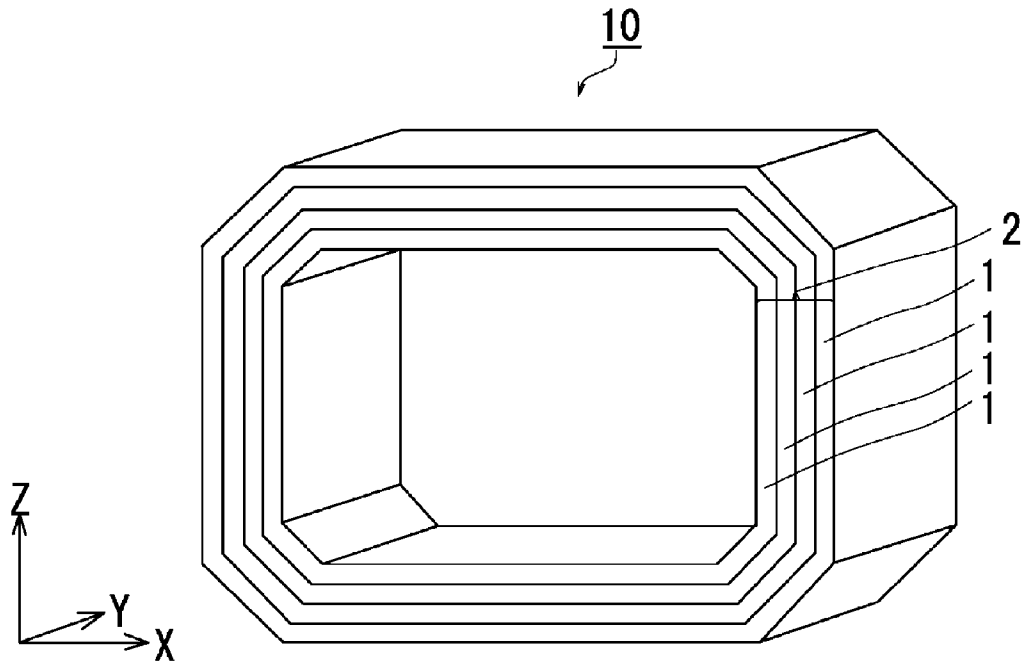
在此， D_{pz} 為 D_c 的平均值；

$D_c(\text{mm})$ 為在前述撓曲部與2個以包夾前述撓曲部之方式配置之前述平面部各自之邊界上，邊界線所延伸方向的平均結晶粒徑；

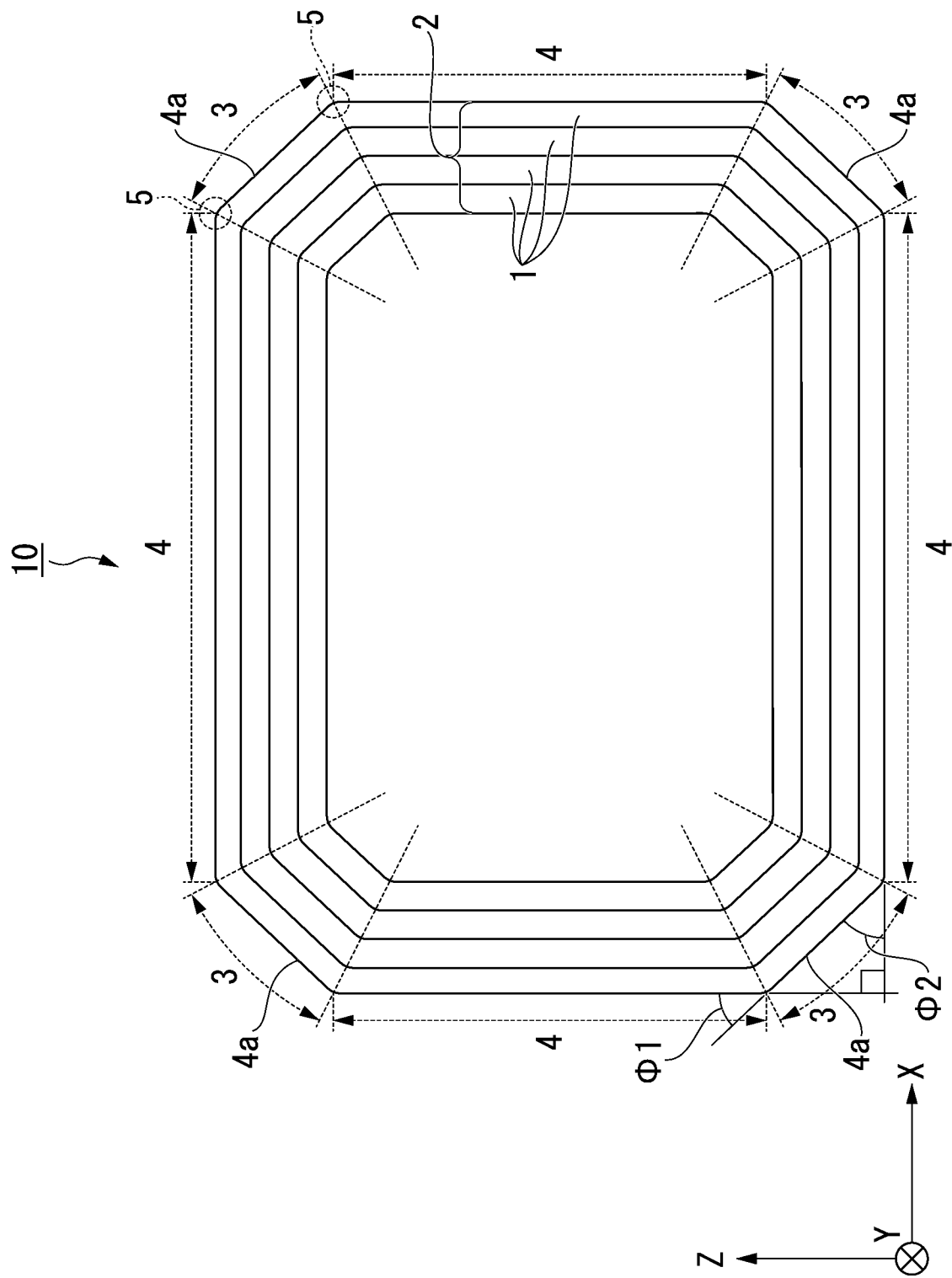
$W(\text{mm})$ 為前述撓曲部在側面視角下的寬度；

又，前述 D_c 的平均值係指2個前述平面部中之一個前述平面部之內表面側的 D_c 與外表面側的 D_c 、以及另一個前述平面部之內表面側的 D_c 與外表面側的 D_p 的平均值。

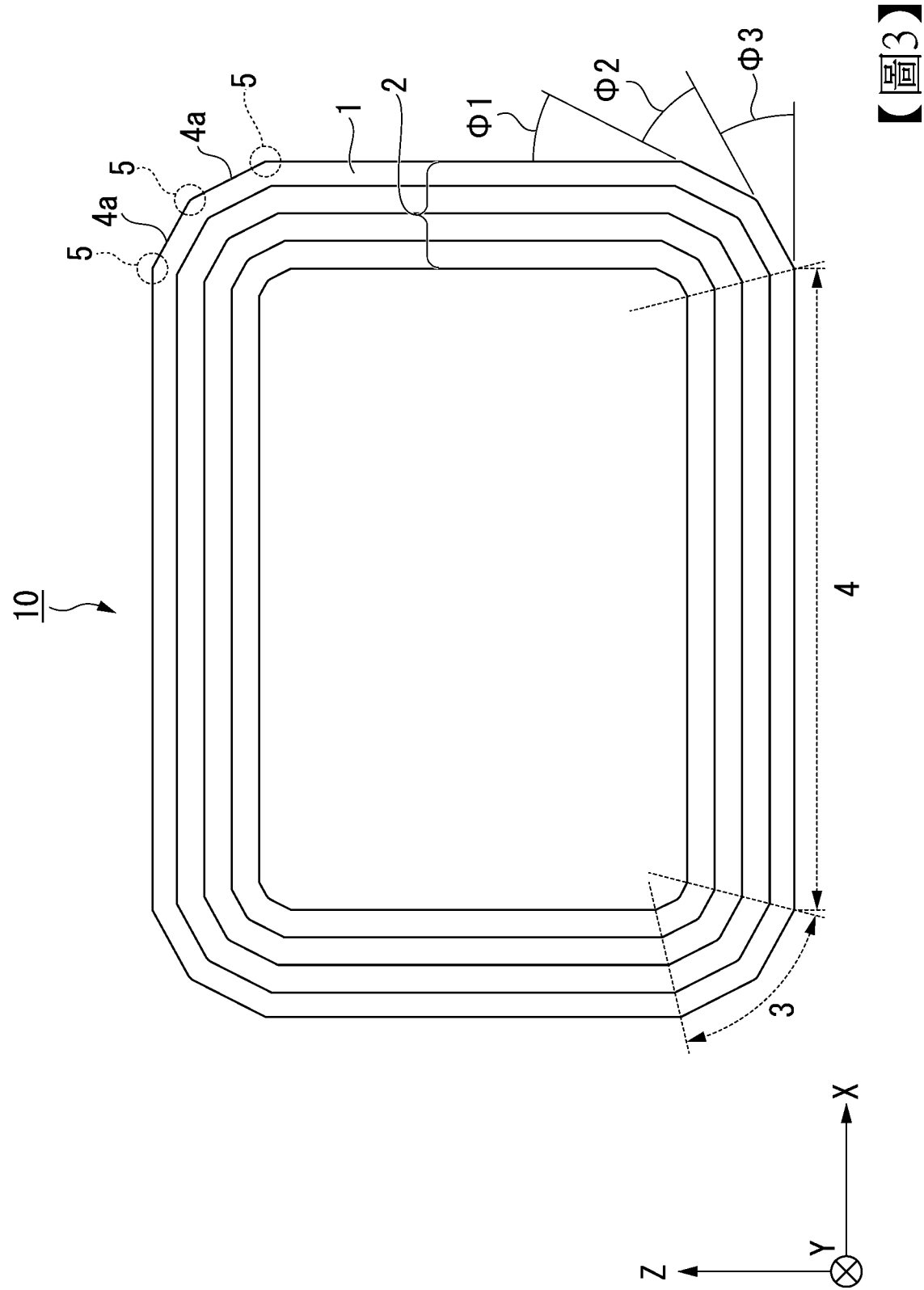
【發明圖式】



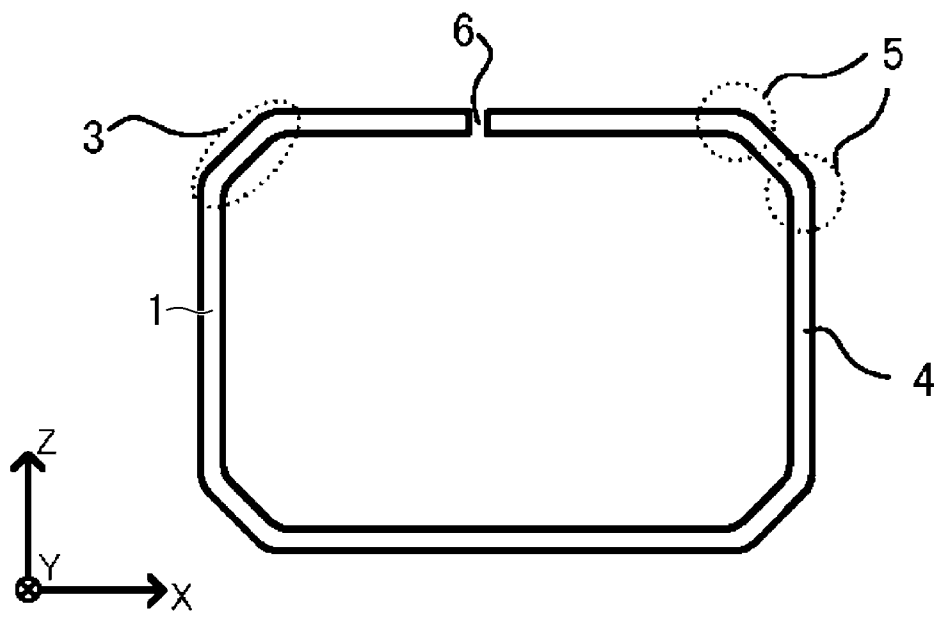
【圖1】



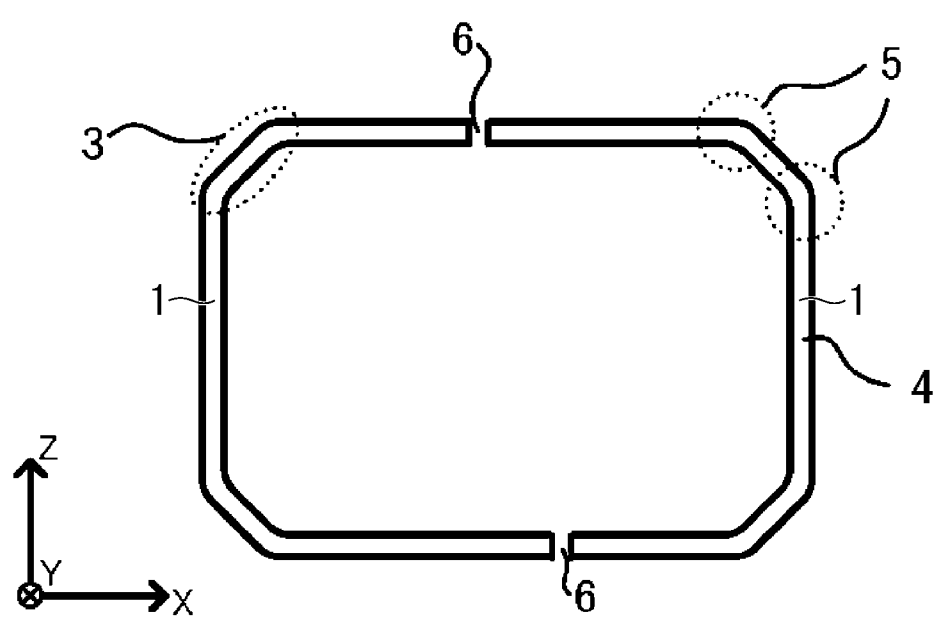
【圖2】



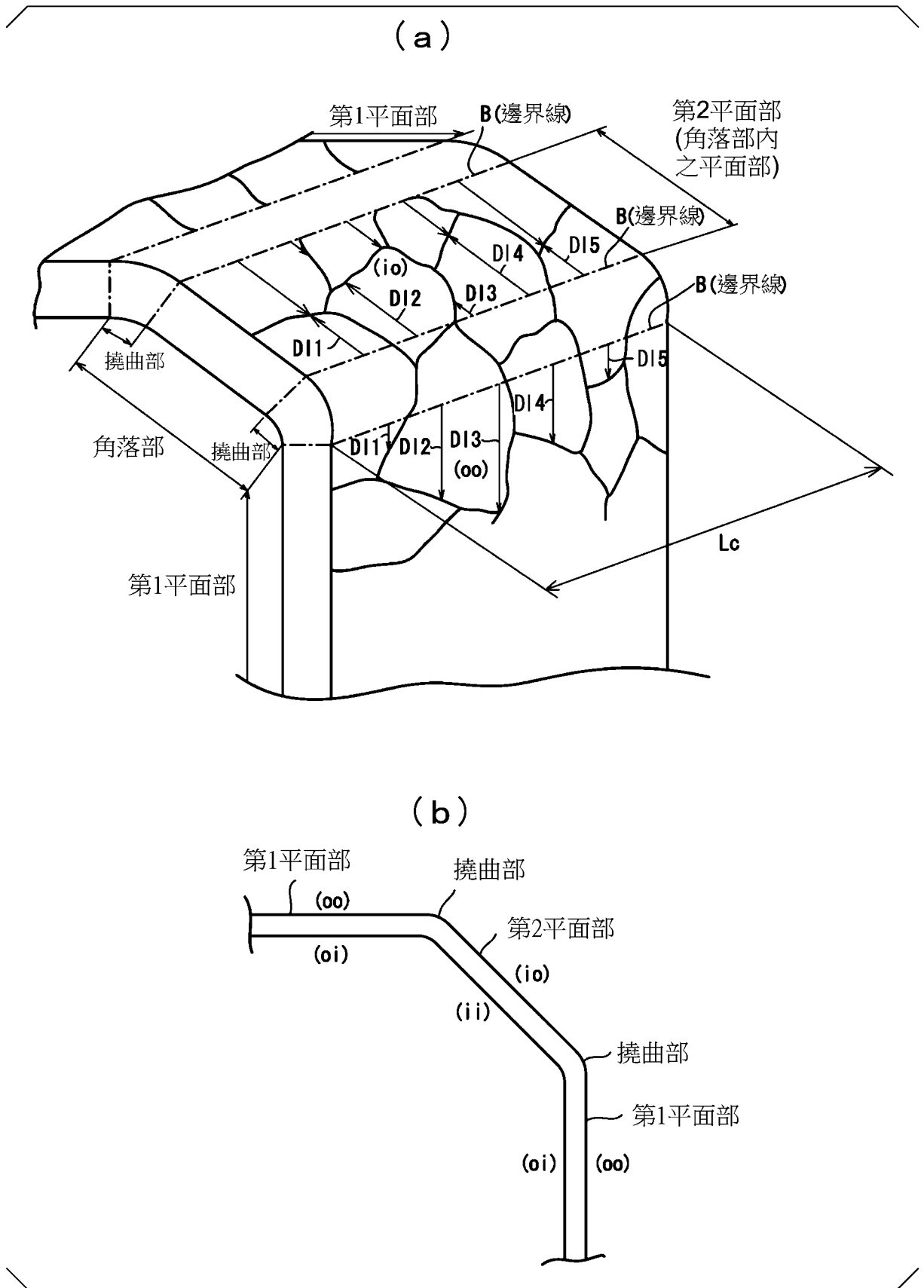
【圖3】

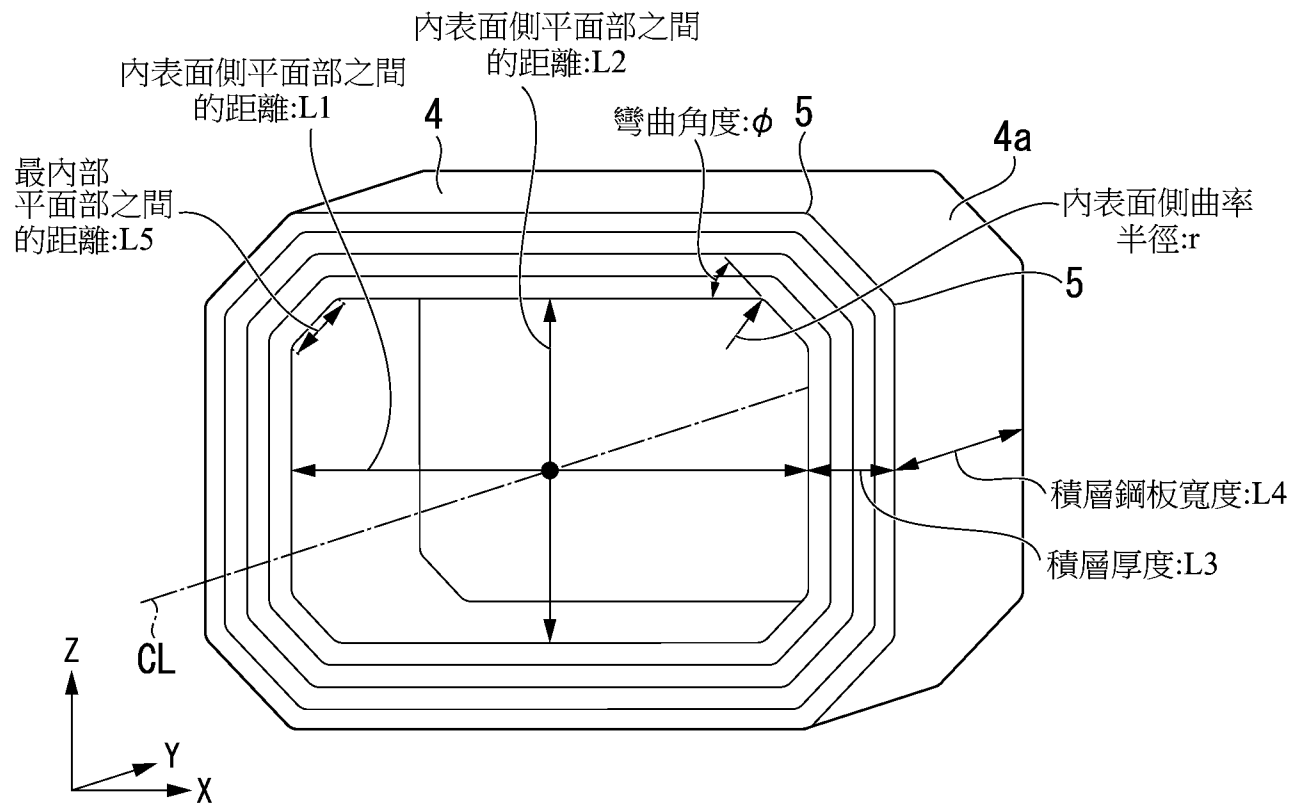


【圖4】



【圖5】





【圖8】