



(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 I836685 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 03 月 21 日

(21)申請案號：111141142 (22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 10 月 28 日

(51)Int. Cl. : C22C38/00 (2006.01) C22C38/02 (2006.01)  
C21D8/12 (2006.01) H01F1/147 (2006.01)  
H01F1/16 (2006.01)

(30)優先權：2022/10/26 世界智慧財產權組織 PCT/JP2022/040034

(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：田中孝明 TANAKA, TAKAAKI (JP)；大久保智幸 OKUBO, TOMOYUKI (JP)；財  
前善彰 ZAIZEN, YOSHIAKI (JP)；宮本幸乃 MIYAMOTO, YUKINO (JP)

(74)代理人：卓俊傑；鮑亞嵐；卓孟儀

(56)參考文獻：

|    |            |    |            |
|----|------------|----|------------|
| TW | 202028480A | TW | 202039871A |
| TW | 202311537A | CN | 111417737A |

審查人員：黃怡菱

申請專利範圍項數：3 項 圖式數：0 共 39 頁

## (54)名稱

無方向性電磁鋼板及其製造方法

## (57)摘要

本發明提供一種具有適於轉子鐵芯的良好的疲勞特性，而且具有適於定子鐵芯的優異的磁特性的無方向性電磁鋼板。一種無方向性電磁鋼板，具有如下成分組成，即，以質量%計包含：C：0.01%以下、Si：2.0%以上且未滿 4.5%、Mn：0.05%以上且 5.00%以下、P：0.1%以下、S：0.01%以下、Al：3.0%以下以及 N：0.005%以下，且 Si+Al 未滿 4.5%，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質，關於鋼板中的結晶粒，平均結晶粒徑  $X_1$  為 60  $\mu\text{m}$  以上且 200  $\mu\text{m}$  以下，結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  滿足規定式 (1)，且結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  為 2.00 以下。

I836685

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】無方向性電磁鋼板及其製造方法

【中文】

本發明提供一種具有適於轉子鐵芯的良好的疲勞特性，而且具有適於定子鐵芯的優異的磁特性的無方向性電磁鋼板。一種無方向性電磁鋼板，具有如下成分組成，即，以質量%計包含：C：0.01%以下、Si：2.0%以上且未滿4.5%、Mn：0.05%以上且5.00%以下、P：0.1%以下、S：0.01%以下、Al：3.0%以下以及N：0.005%以下，且Si+Al未滿4.5%，且剩餘部分為Fe及不可避免的雜質，關於鋼板中的結晶粒，平均結晶粒徑 $X_1$ 為60  $\mu\text{m}$ 以上且200  $\mu\text{m}$ 以下，結晶粒徑分佈的標準偏差 $S_1$ 滿足規定式(1)，且結晶粒徑分佈的峰度 $K_1$ 為2.00以下。

【指定代表圖】無。

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 無方向性電磁鋼板及其製造方法

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種無方向性電磁鋼板及其製造方法。

【先前技術】

【0002】 近年來，對電氣機器的節能化的要求於世界範圍內不斷提高。伴隨於此，對於旋轉機的鐵芯中所使用的無方向性電磁鋼板，亦要求更優異的磁特性。另外，最近於混合動力車輛（hybrid electric vehicle，HEV）或電動汽車（electric vehicle，EV）的驅動馬達等中，小型化、高輸出化的需求強烈，為了應對該需求，正在研究提升馬達的轉速。

【0003】 馬達鐵芯分為定子鐵芯（stator core）及轉子鐵芯（rotor core），HEV 驅動馬達的轉子鐵芯由於其外徑大而作用有大的離心力。另外，轉子鐵芯於構造上存在被稱為轉子鐵芯橋接部的非常狹窄的部分（寬度：1 mm～2 mm），該部分於馬達驅動中成為應力特別高的狀態。進而，藉由馬達反覆旋轉與停止而對轉子鐵芯作用有由離心力引起的大的反覆應力，因此轉子鐵芯中所使用的電磁鋼板需要具有優異的疲勞特性。特別是，藉由馬達的驅動，轉子鐵芯的溫度上升至 100°C～150°C 左右，因此轉子鐵芯中所使用的電磁鋼板需要於 100°C 附近具有優異的疲勞特性。

另一方面，關於定子鐵芯中所使用的電磁鋼板，為了達成馬

達的小型化、高輸出化，理想的是為高磁通密度且低鐵損。即，作為對馬達鐵芯所使用的電磁鋼板要求的特性，理想的是，轉子鐵芯用的電磁鋼板具有優異的疲勞特性，且定子鐵芯用的電磁鋼板為高磁通密度且低鐵損。

**【0004】** 如此，即便為相同的馬達鐵芯所使用的電磁鋼板，對轉子鐵芯與定子鐵芯所要求的特性亦大為不同。但是，於馬達鐵芯的製造中，為了提高材料良率及生產性，理想的是藉由衝壓加工而自同一原材料鋼板同時選取轉子鐵芯材與定子鐵芯材，其後積層各個鋼板而組裝成轉子鐵芯或定子鐵芯。

**【0005】** 作為製造馬達鐵芯用的高強度且低鐵損的無方向性電磁鋼板的技術，例如於專利文獻 1 中揭示有如下技術，即，製造高強度的無方向性電磁鋼板，藉由衝壓加工而自該鋼板選取轉子鐵芯材與定子鐵芯材並進行積層，組裝轉子鐵芯及定子鐵芯，其後，僅對定子鐵芯實施應變消除退火等的、由同一原材料製造高強度的轉子鐵芯與低鐵損的定子鐵芯的技術。

[現有技術文獻]

[專利文獻]

**【0006】** 專利文獻 1：日本專利特開 2008-50686 號公報

**【發明內容】**

[發明所欲解決之課題]

**【0007】** 然而，於所述專利文獻 1 所揭示的技術中，根據本發明者等人的研究，藉由使用高強度的無方向性電磁鋼板而使降伏應

力提高，但擔心作為最重要的特性的溫態疲勞強度未必會提高。進而，於專利文獻 1 所揭示的技術中，就為了促進晶粒生長而要求高溫下的應變消除退火的方面而言，為此的設備的導入花費成本，因此，除了已經具有退火設備的一部分製造商以外，就經濟性觀點而言存在難以推進技術的普及等問題。

**【0008】** 本發明是鑒於所述先前技術存在的問題點而成，其目的在於提供一種具有適於轉子鐵芯的良好的疲勞特性，而且具有適於定子鐵芯的優異的磁特性的無方向性電磁鋼板，並且提出一種廉價地製造該無方向性電磁鋼板的方法。

[解決課題之手段]

**【0009】** 本發明者等人對所述課題的解決進行了銳意研究，結果了解到，藉由對結晶粒徑分佈進行控制，可獲得疲勞強度、特別是溫態疲勞强度高、而且低鐵損的無方向性電磁鋼板。進而，亦發現，藉由達成冷軋的最終道次下的軋製條件的恰當化，可對結晶粒徑分佈進行控制。

本發明是基於該見解而成者，具有以下的結構。

**【0010】** [1]一種無方向性電磁鋼板，其特徵在於具有如下成分組成，即，

以質量%計包含：

C：0.01%以下、

Si：2.0%以上且未滿 4.5%、

Mn：0.05%以上且 5.00%以下、

P：0.1%以下、

S：0.01%以下、

Al：3.0%以下以及

N：0.0050%以下、

且 Si+Al 未滿 4.5%，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質，

關於鋼板中的結晶粒，平均結晶粒徑  $X_1$  為 60  $\mu\text{m}$  以上且 200  $\mu\text{m}$  以下，結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  滿足下式 (1)：

$$S_1/X_1 < 0.75 \quad \dots (1),$$

且結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  為 2.00 以下。

**【0011】** [2]如所述[1]所述的無方向性電磁鋼板，其中，

所述成分組成中，以質量%計更包含：

Co：0.0005%以上且 0.0050%以下。

**【0012】** [3]如所述[1]或所述[2]所述的無方向性電磁鋼板，其中，

所述成分組成中，以質量%計更包含：

Cr：0.05%以上且 5.00%以下。

**【0013】** [4]如所述[1]至所述[3]中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其中，

所述成分組成中，以質量%計更包含：

Ca：0.001%以上且 0.100%以下、

Mg：0.001%以上且 0.100%以下以及

稀土金屬（rare earth metal，REM）：0.001%以上且 0.100%以

下

中的任意一種或兩種以上。

【0014】 [5]如所述[1]至所述[4]中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其中，

所述成分組成中，以質量%計更包含：

Sn：0.001%以上且 0.200%以下以及

Sb：0.001%以上且 0.200%以下

中的任意一種或兩種。

【0015】 [6]所述[1]至所述[5]中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其中，

所述成分組成中，以質量%計更包含：

Cu：0%以上且 0.5%以下、

Ni：0%以上且 0.5%以下、

Ti：0%以上且 0.005%以下、

Nb：0%以上且 0.005%以下、

V：0%以上且 0.010%以下、

Ta：0%以上且 0.002%以下、

B：0%以上且 0.002%以下、

Ga：0%以上且 0.005%以下、

Pb：0%以上且 0.002%以下、

Zn：0%以上且 0.005%以下、

Mo：0%以上且 0.05%以下、

W：0%以上且 0.05%以下、

Ge：0%以上且 0.05%以下以及

As：0%以上且 0.05%以下

中的任意一種或兩種以上。

**【0016】** [7]一種無方向性電磁鋼板的製造方法，為製造如所述[1]至所述[6]中任一項所述的無方向性電磁鋼板的方法，所述無方向性電磁鋼板的製造方法包括：

熱軋步驟，對具有如所述[1]至所述[6]中任一項所述的成分組成的鋼原材料實施熱軋而獲得熱軋板；

酸洗步驟，對所述熱軋板實施酸洗；

冷軋步驟，以最終道次的工作輥徑  $D$  為  $150 \text{ mm}\phi$  以上、最終道次的壓下率  $r$  為 15%以上、以及最終道次的應變速度  $\epsilon_m$  為  $100 \text{ s}^{-1}$  以上且  $1300 \text{ s}^{-1}$  以下的條件對實施了所述酸洗的所述熱軋板實施冷軋而獲得冷軋板；以及

退火步驟，以  $500^\circ\text{C}$  至  $700^\circ\text{C}$  的平均升溫速度  $V_1$  為  $10^\circ\text{C}/\text{s}$  以上的條件將所述冷軋板加熱至  $875^\circ\text{C}$  以上且  $1050^\circ\text{C}$  以下的退火溫度  $T_2$  後，進行冷卻，而獲得作為無方向性電磁鋼板的冷軋退火板。

[發明的效果]

**【0017】** 根據本發明，可提供一種兼具溫態疲勞強度高這一適於轉子鐵芯的特性、及磁特性優異這一適於定子鐵芯的特性的無方

向性電磁鋼板。因此，藉由使用本發明的無方向性電磁鋼板，可材料良率佳且廉價地提供高性能的馬達鐵芯。再者，出於減少由衝壓時的應變引起的鐵損的上升的目的，即便對本發明的鋼板實施應變消除退火，所述效果亦不會受到任何影響。

#### 【圖式簡單說明】

無

#### 【實施方式】

【0018】 以下，一併對本發明的詳細情況及其限定理由進行說明。

#### 【0019】 <無方向性電磁鋼的成分組成>

對本發明的無方向性電磁鋼板所具有的較佳的成分組成進行說明。成分組成中的元素的含量的單位均為「質量%」，以下，只要並無特別說明則僅由「%」表示。

#### 【0020】 C：0.01%以下

C 是於馬達的使用中形成碳化物而引起磁時效並使鐵損特性劣化的有害元素。為了避免磁時效，鋼板中的 C 含量設為 0.01% 以下。較佳為 C 含量為 0.004% 以下。再者，C 含量的下限並無特別規定，但過度地減少了 C 的鋼板非常昂貴，因此 C 含量較佳為 0.0001% 以上。

#### 【0021】 Si：2.0% 以上且未滿 4.5%

Si 具有提高鋼的固有電阻、減少鐵損的效果，另外，具有藉由固溶強化而提高鋼的強度的效果。為了獲得此種效果，將 Si 含

量設為 2.0%以上。另一方面，若 Si 含量成為 4.5%以上，則伴隨飽和磁通密度的降低，磁通密度顯著降低，因此 Si 含量設為未滿 4.5%。因此，Si 含量設為 2.0%以上且未滿 4.5%的範圍。Si 含量較佳為 2.5%以上且未滿 4.5%，更佳為 3.0%以上且未滿 4.5%。

**【0022】 Mn：0.05%以上且 5.00%以下**

Mn 與 Si 同樣地是對提高鋼的固有電阻及強度而言有用的元素。為了獲得此種效果，需要將 Mn 含量設為 0.05%以上。另一方面，若 Mn 含量超過 5.00%，則有時會促進 MnC 的析出而使磁特性劣化，因此 Mn 含量的上限設為 5.00%。因此，Mn 含量設為 0.05%以上且 5.00%以下。Mn 含量較佳為 0.10%以上，另外，較佳為 3.00%以下。

**【0023】 P：0.1%以下**

P 是用於鋼的強度（硬度）的調整的有用的元素。但是，若 P 含量超過 0.1%，則韌性降低，加工時容易產生裂紋，因此 P 含量設為 0.1%以下。再者，P 含量的下限並無特別規定，但由於過度地減少了 P 的鋼板非常昂貴，因此 P 含量較佳為 0.001%以上。P 含量較佳為 0.003%以上，另外，較佳為 0.08%以下。

**【0024】 S：0.01%以下**

S 是形成微細析出物而對鐵損特性帶來不良影響的元素。特別是，若 S 含量超過 0.01%，則其不良影響變得顯著，因此 S 含量設為 0.01%以下。再者，S 含量的下限並無特別規定，但由於過度地減少了 S 的鋼板非常昂貴，因此 S 含量較佳為 0.0001%以上。

S 含量較佳為 0.0003%以上，另外，較佳為 0.0080%以下，更佳為 0.0050%以下。

**【0025】 Al：3.0%以下**

Al 與 Si 同樣地是具有提高鋼的固有電阻、減少鐵損的效果的有用的元素。為了獲得此種效果，較佳為將 Al 含量設為 0.005%以上。Al 含量更佳為 0.010%以上，進而佳為 0.015%以上。另一方面，若 Al 含量超過 3.0%，則有時會助長鋼板表面的氮化，使磁特性劣化，因此 Al 含量的上限設為 3.0%。Al 含量較佳為 2.0%以下。

**【0026】 N：0.0050%以下**

N 是形成微細析出物而對鐵損特性帶來不良影響的元素。特別是，若 N 含量超過 0.0050%，則其不良影響變得顯著，因此 N 含量設為 0.0050%以下。N 含量較佳為 0.0030%以下。再者，N 含量的下限並無特別規定，但由於過度地減少了 N 的鋼板非常昂貴，因此 N 含量較佳為 0.0005%以上。N 含量較佳為 0.0008%以上，另外，較佳為 0.0030%以下。

**【0027】 Si+Al：未滿 4.5%**

藉由將 Si+Al (Si 及 Al 的合計含量) 設為未滿 4.5%，進而於適當的條件下實施冷軋，而具有降低冷軋退火板的結晶粒徑分佈的峰度的效果。藉此，疲勞強度上升。因此，Si+Al 的值設為未滿 4.5%。再者，藉由將 Si+Al 的值設為未滿 4.5%，進而將適當的冷軋加以組合而使結晶粒徑分佈的峰度降低的理由尚不清楚。但

是，關於此點，本發明者等人推測，其為藉由冷軋時活動的滑移系統的平衡發生變化，冷軋中的剪切應變分佈最佳化而產生的效果。

**【0028】** 於一實施方式的電磁鋼板的成分組成中，所述成分以外的剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質。但是，其他實施方式的電磁鋼板的成分組成可進而根據要求特性，除了含有所述成分（元素）以外，亦含有規定量的選自後述的元素中的一種或兩種以上。

**【0029】** Co：0.0005%以上且 0.0050%以下

Co 具有增強藉由 Si+Al 及冷軋條件的適當控制而使退火板的結晶粒徑分佈的峰度降低的作用的效果。即，藉由微量地添加 Co，可穩定地降低結晶粒徑分佈的峰度。為了獲得此種效果，只要將 Co 含量設為 0.0005%以上即可。另一方面，若 Co 的含量超過 0.0050%，則效果飽和，徒然導致成本的上升，因此於添加 Co 的情況下，將 Co 含量的上限設為 0.0050%。因此，所述成分組成較佳為更包含 Co：0.0005%以上且 0.0050%以下。

**【0030】** Cr：0.05%以上且 5.00%以下

Cr 具有提高鋼的固有電阻、減少鐵損的效果。為了獲得此種效果，只要將 Cr 含量設為 0.05%以上即可。另一方面，若 Cr 的含量超過 5.00%，則伴隨飽和磁通密度的降低，磁通密度顯著降低，因此於添加 Cr 的情況下，將 Cr 含量的上限設為 5.00%。因此，所述成分組成較佳為更包含 Cr：0.05%以上且 5.00%以下。

**【0031】** Ca：0.001%以上且 0.100%以下

Ca 是將 S 以硫化物的形式固定，有助於鐵損減少的元素。為了獲得此種效果，只要將 Ca 含量設為 0.001% 以上即可。另一方面，若 Ca 的含量超過 0.100%，則效果飽和，徒然導致成本的上升，因此於添加 Ca 的情況下，將 Ca 含量的上限設為 0.100%。

**【0032】 Mg：0.001% 以上且 0.100% 以下**

Mg 是將 S 以硫化物的形式固定，有助於鐵損減少的元素。為了獲得此種效果，只要將 Mg 含量設為 0.001% 以上即可。另一方面，若 Mg 的含量超過 0.100%，則效果飽和，徒然導致成本的上升，因此於添加 Mg 的情況下，將 Mg 含量的上限設為 0.100%。

**【0033】 REM：0.001% 以上且 0.100% 以下**

REM 是將 S 以硫化物的形式固定，有助於鐵損減少的元素群。為了獲得此種效果，只要將 REM 含量設為 0.001% 以上即可。另一方面，若 REM 的含量超過 0.100%，則效果飽和，徒然導致成本的上升，因此於添加 REM 的情況下，將 REM 含量的上限設為 0.100%。

**【0034】** 就同樣的觀點而言，所述成分組成較佳為更包含 Ca：0.001% 以上且 0.100% 以下、Mg：0.001% 以上且 0.100% 以下以及 REM：0.001% 以上且 0.100% 以下中的任意一種或兩種以上。

**【0035】 Sn：0.001% 以上且 0.200% 以下**

Sn 是藉由織構改善而對磁通密度提高及鐵損減少有效果的元素。為了獲得此種效果，只要將 Sn 的含量設為 0.001% 以上即可。另一方面，若 Sn 的含量超過 0.200%，則效果飽和，徒然導

致成本的上升，因此於添加 Sn 的情況下，將 Sn 含量的上限設為 0.200%。

**【0036】** Sb：0.001%以上且 0.200%以下

Sb 是藉由織構改善而對磁通密度提高及鐵損減少有效果的元素。為了獲得此種效果，只要將 Sb 的含量設為 0.001%以上即可。另一方面，若 Sb 的含量超過 0.200%，則效果飽和，徒然導致成本的上升，因此於添加 Sb 的情況下，將 Sb 含量的上限設為 0.200%。

**【0037】** 就同樣的觀點而言，所述成分組成較佳為更包含 Sn：0.001%以上且 0.200%以下以及 Sb：0.001%以上且 0.200%以下中的任意一種或兩種。

**【0038】** Cu：0%以上且 0.5%以下

Cu 是提高鋼的韌性的元素，可適宜添加。但是，若 Cu 的含量超過 0.5%，則效果飽和，因此於添加 Cu 的情況下，將 Cu 含量的上限設為 0.5%。於添加 Cu 的情況下，Cu 含量更佳為 0.01%以上，另外，更佳為 0.1%以下。再者，Cu 含量亦可為 0%。

**【0039】** Ni：0%以上且 0.5%以下

Ni 是提高鋼的韌性的元素，可適宜添加。但是，若 Ni 的含量超過 0.5%，則效果飽和，因此於添加 Ni 的情況下，將 Ni 含量的上限設為 0.5%。於添加 Ni 的情況下，Ni 含量更佳為 0.01%以上，另外，更佳為 0.1%以下。再者，Ni 含量亦可為 0%。

**【0040】** Ti：0%以上且 0.005%以下

Ti 經由形成微細的碳氮化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 Ti 的含量超過 0.005%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 Ti 的情況下，將 Ti 含量的上限設為 0.005%。Ti 含量更佳為 0.002% 以下。再者，Ti 含量亦可為 0%。

【0041】 Nb：0% 以上且 0.005% 以下

Nb 經由形成微細的碳氮化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 Nb 的含量超過 0.005%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 Nb 的情況下，將 Nb 含量的上限設為 0.005%。Nb 含量更佳為 0.002% 以下。再者，Nb 含量亦可為 0%。

【0042】 V：0% 以上且 0.010% 以下

V 經由形成微細的碳氮化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 V 的含量超過 0.010%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 V 的情況下，將 V 含量的上限設為 0.010%。V 含量更佳為 0.005% 以下。再者，V 含量亦可為 0%。

【0043】 Ta：0% 以上且 0.002% 以下

Ta 經由形成微細的碳氮化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 Ta 的含量超過 0.002%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 Ta 的情況下，將 Ta 含量的上限設為 0.0020%。

Ta 含量更佳為 0.001%以下。再者，Ta 含量亦可為 0%。

【0044】 B：0%以上且 0.002%以下

B 經由形成微細的氮化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 B 的含量超過 0.002%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 B 的情況下，將 B 含量的上限設為 0.002%以下。B 含量更佳為 0.001%以下。再者，B 含量亦可為 0%。

【0045】 Ga：0%以上且 0.005%以下

Ga 經由形成微細的氮化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 Ga 的含量超過 0.005%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 Ga 的情況下，將 Ga 含量的上限設為 0.005%。Ga 含量更佳為 0.002%以下。再者，Ga 含量亦可為 0%。

【0046】 Pb：0%以上且 0.002%以下

Pb 經由形成微細的 Pb 粒子並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 Pb 的含量超過 0.002%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 Pb 的情況下，將 Pb 含量的上限設為 0.002%。Pb 含量更佳為 0.001%以下。再者，Pb 含量亦可為 0%。

【0047】 Zn：0%以上且 0.005%以下

Zn 是使微細夾雜物增加而使鐵損增加的元素，特別是，若含量超過 0.005%，則不良影響變得顯著。因此，於添加 Zn 的情況

下，將 Zn 含量的上限設為 0.005%。Zn 含量更佳為 0.003%以下。再者，Zn 含量亦可為 0%。

**【0048】 Mo：0%以上且 0.05%以下**

Mo 經由形成微細碳化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 Mo 的含量超過 0.05%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 Mo 的情況下，將 Mo 含量的上限設為 0.05%。Mo 含量更佳為 0.02%以下。再者，Mo 含量亦可為 0%。

**【0049】 W：0%以上且 0.05%以下**

W 經由形成微細碳化物並藉由析出強化提高鋼板強度來提高溫態疲勞強度，因此可適宜添加。另一方面，若 W 的含量超過 0.05%，則會使退火步驟中的晶粒生長性劣化，導致鐵損的增加。因此，於添加 W 的情況下，將 W 含量的上限設為 0.05%。W 含量更佳為 0.02%以下。再者，W 含量亦可為 0%。

**【0050】 Ge：0%以上且 0.05%以下**

Ge 是藉由織構的改善而對磁通密度的提高及鐵損減少有效果的元素，因此可適宜添加。另一方面，若 Ge 的含量超過 0.05%，則效果飽和，因此於添加 Ge 的情況下，將 Ge 含量的上限設為 0.05%。Ge 含量更佳為 0.002%以上，另外，更佳為 0.01%以下。再者，Ge 含量亦可為 0%。

**【0051】 As：0%以上且 0.05%以下**

As 是藉由織構的改善而對磁通密度的提高及鐵損減少有效

果的元素，因此可適宜添加。另一方面，若 As 的含量超過 0.05%，則效果飽和，因此於添加 As 的情況下，將 As 含量的上限設為 0.05%。As 含量更佳為 0.002%以上，另外，更佳為 0.01%以下。再者，As 含量亦可為 0%。

**【0052】** 於以上的成分組成中，所述成分以外的剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質。

**【0053】** <無方向性電磁鋼板的微觀組織>

接著，對本發明的無方向性電磁鋼板中的微觀組織（結晶粒的形態）進行說明。

**【0054】** （平均結晶粒徑  $X_1$ ：60  $\mu\text{m}$  以上且 200  $\mu\text{m}$  以下）

根據本發明者等人的研究，明確了藉由鋼板中的結晶粒微細，疲勞強度提高。即，若平均結晶粒徑  $X_1$  為 200  $\mu\text{m}$  以下，則溫態疲勞強度可滿足適用於 HEV 或 EV 的馬達（以下稱為 HEV/EV 馬達）的轉子用材料所需的值，因此於本發明的無方向性電磁鋼板中，將平均結晶粒徑  $X_1$  設為 200  $\mu\text{m}$  以下。此處，關於溫態疲勞強度，轉子用材料所需的值為 300 MPa 以上。

**【0055】** 另一方面，若平均結晶粒徑  $X_1$  過度微細，則鐵損上升。因此，於本發明的無方向性電磁鋼板中，將平均結晶粒徑  $X_1$  設為 60  $\mu\text{m}$  以上。藉此，可達成目標鐵損特性（ $W_{10/400} \leq 15.0$  (W/kg)）。

**【0056】** （結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$ ：滿足式（1））

於結晶粒徑分佈的標準偏差的值相對於平均結晶粒徑大的情況下，存在很多對鐵損的減少不利的過度微細的結晶粒或過度粗

大的結晶粒，因此鐵損上升。因此，於本發明的無方向性電磁鋼板中，為了使鐵損顯示出 HEV/EV 馬達的定子用材料所需的所述目標值，結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  滿足下式 (1)：

$$S_1/X_1 < 0.75 \quad \dots (1)。$$

另外，關於本發明的無方向性電磁鋼板，結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  滿足下式 (1')：

$$S_1/X_1 < 0.70 \quad \dots (1')。$$

**【0057】** (結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$ ：2.00 以下)

本發明者等人發現，藉由對結晶粒徑分佈的峰度進行控制，可實現溫態疲勞強度高且低鐵損的無方向性電磁鋼板。藉由同時對結晶粒徑分佈的峰度與所述結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  進行控制，可獲得此種效果。

此處，所謂峰度，相當於日本工業標準 (Japanese Industrial Standards, JIS) Z8101-1：2015 中的 (標本) 峰態，與分佈的重尾相關連。JISZ8101-1：2015 與國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 3534-1：2006 對應。於峰度高的情況下，意味著即便是具有相同標準偏差的分佈，與分佈形狀為正態分佈的情況相比，極端自平均偏離的值亦以高概率存在的分佈。即，於本案說明書中，峰度成為相對於結晶粒徑分佈

的偏差而言極端粗大的結晶粒及/或極端微細的結晶粒存在的頻率的指標。於峰度高的情況下極端粗大的結晶粒及/或極端微細的結晶粒的存在頻率高。若極端粗大的結晶粒或極端微細的結晶粒混合存在，則於反覆應力負荷時容易產生過度的應力集中與由此引起的局部的反覆應變。於 100°C 左右的溫態條件下，應變集中部因應變時效而硬質化，於組織中硬度的不均勻增強，因此特別是會使 100°C 左右的溫態疲勞特性劣化。進而，極端粗大的結晶粒會誘發渦流損失的增加，極端微細的結晶粒會誘發磁滯損失的增加，因此使鋼板整體的鐵損特性劣化。具體而言，若結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  為 2.00 以下，則極端粗大的結晶粒或極端微細的結晶粒的存在頻率充分小，疲勞極限滿足 HEV/EV 馬達的轉子用材料所需的所述值，並且鐵損顯示出 HEV/EV 馬達的定子用材料所需的所述值。因此，於本發明的無方向性電磁鋼板中，將結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  設為 2.00 以下。結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  較佳為 1.50 以下，更佳為 1.00 以下。再者，所述峰度  $K_1$  的下限無需進行特別限定，但於運用本發明的方法來製造的情況下亦通常為 0 以上。

再者，峰度  $K_1$  可按照後述的實施例中記載的程序來求出，是使用將正態分佈的值調整為 0 的公式計算出的值。

#### 【0058】 <馬達鐵芯>

馬達鐵芯可由作為所述無方向性電磁鋼板的積層體的轉子鐵芯、及作為所述無方向性電磁鋼板的積層體的定子鐵芯所形成。關於該馬達鐵芯，轉子鐵芯的溫態疲勞強度高，且定子鐵芯的磁

特性優異，因此可容易地實現小型化且高輸出化。

**【0059】** <無方向性電磁鋼板的製造方法>

接著，對本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法進行說明。

概略而言，是以具有所述成分組成的鋼原材料為起始原材料，依次進行熱軋步驟、任意的熱軋板退火步驟、酸洗步驟、冷軋步驟、退火步驟的方法，藉此，可獲得所述本發明的無方向性電磁鋼板。於本發明中，只要鋼原材料的成分組成、冷軋步驟、以及退火步驟的條件為規定的範圍內，則除此以外的條件並無特別限定。再者，關於馬達鐵芯的製造方法，並無特別限定，可使用通常公知的方法。

**【0060】**（鋼原材料）

鋼原材料只要是具有對於無方向性電磁鋼板已述的成分組成的鋼原材料，則並無特別限定。

作為鋼原材料的熔煉方法，並無特別限定，可採用使用轉爐或電爐等的公知的熔煉方法。就生產性等問題而言，較佳為於熔煉後藉由連續鑄造法製成板坯（鋼原材料），但亦可藉由造塊-分塊軋製法或薄板坯連鑄法等公知的鑄造方法製成板坯。

**【0061】**（熱軋步驟）

熱軋步驟是藉由對具有所述成分組成的鋼原材料實施熱軋而獲得熱軋板的步驟。熱軋步驟只要是對具有所述成分組成的鋼原材料進行加熱、實施熱軋而獲得規定尺寸的熱軋板的步驟，則並無特別限定，可適用常用的熱軋步驟。

**【0062】** 作為常用的熱軋步驟，例如，可列舉如下熱壓步驟，即，將鋼原材料加熱至 1000°C 以上且 1200°C 以下的溫度，以 800°C 以上且 950°C 以下的精軋製出側溫度對加熱後的鋼原材料實施熱軋，熱軋結束後，實施恰當的軋製後冷卻（例如，以 20°C/s 以上且 100°C/s 以下的平均冷卻速度於 450°C 以上且 950°C 以下的溫度區域進行冷卻），以 400°C 以上且 700°C 以下的捲取溫度進行捲取，從而製成規定尺寸形狀的熱軋板。

**【0063】** （熱軋板退火步驟）

熱軋板退火步驟是藉由對所述熱軋板進行加熱並保持高溫來對熱軋板進行退火的步驟。熱軋板退火步驟並無特別限定，可適用常用的熱軋板退火步驟。再者，該熱軋板退火步驟並非必需，亦可省略。

**【0064】** （酸洗步驟）

酸洗步驟是對所述熱軋步驟或任意的所述熱軋板退火步驟後的熱軋板實施酸洗的步驟。酸洗步驟只要是可酸洗至可對酸洗後的鋼板實施冷軋的程度的步驟，則並無特別限定，例如可適用使用鹽酸或硫酸等的常用的酸洗步驟。該酸洗步驟於進行所述熱軋板退火步驟的情況下，可與該熱軋板退火步驟於同一生產線內連續實施，亦可於另一生產線上實施。

**【0065】** （冷軋步驟）

冷軋步驟是對實施了所述酸洗的熱軋板（酸洗板）實施冷軋的步驟。更詳細而言，於冷軋步驟中，以最終道次的工作輥徑  $D$

為 150 mm $\phi$  以上、最終道次的壓下率  $r$  為 15% 以上、以及最終道次的應變速度  $\epsilon_m$  為 100 s<sup>-1</sup> 以上且 1300 s<sup>-1</sup> 以下的條件對實施了所述酸洗的熱軋板實施冷軋而獲得冷軋板。再者，於冷軋步驟中，只要滿足所述冷軋條件，則亦可根據需要藉由夾有中間退火的兩次以上的冷軋來製成規定尺寸的冷軋板。作為此時的中間退火的條件，並無特別限定，可適用常用的中間退火步驟。

**【0066】** [最終道次的工作輥徑  $D$ ：150 mm $\phi$  以上]

於冷軋步驟中，最終道次的工作輥徑  $D$  設為 150 mm $\phi$  以上。將最終道次的工作輥徑  $D$  設為 150 mm $\phi$  以上的理由在於，將所獲得的無方向性電磁鋼板中的結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  設為 2.00 以下，以形成所期望的鋼板組織。

於最終道次的工作輥徑  $D$  小於 150 mm $\phi$  的情況下，與平面壓縮的狀態相隔較遠，因此與工作輥徑大的情況相比，結晶粒單位下的剪切應變的不均勻性增強。由於該剪切應變的不均勻性，後續的退火步驟中的再結晶核的核生成頻率非常高的區域與非常低的區域生成一定量，因此退火板的結晶粒徑分佈的峰度變大。

另一方面，於最終道次的工作輥徑  $D$  為 150 mm $\phi$  以上的情況下，於後述的退火步驟後，結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  成為 2.00 以下。其結果，可獲得所期望的鋼板組織。

**【0067】** 最終道次的工作輥徑  $D$  較佳為 170 mm $\phi$  以上，更佳為 200 mm $\phi$  以上。再者，最終道次的工作輥徑  $D$  的上限並無特別限定，但於輥徑過大的情況下軋製載荷增大，因此較佳為 700 mm $\phi$

以下。

**【0068】 [最終道次的壓下率  $r$ ：15%以上]**

於冷軋步驟中，最終道次的壓下率  $r$  設為 15%以上。將最終道次的壓下率  $r$  設為 15%以上的理由在於獲得一系列的冷軋控制的效果，以形成所期望的鋼板組織。

於最終道次的壓下率  $r$  未滿 15%的情況下，壓下率過低，因此難以對退火後的組織進行控制。另一方面，於最終道次的壓下率  $r$  為 15%以上的情況下，發揮出一系列的冷軋控制的效果。其結果，可獲得所期望的鋼板組織。

**【0069】** 最終道次的壓下率  $r$  較佳為 20%以上。再者，最終道次的壓下率  $r$  的上限並無特別限定，但過高的壓下率要求極大的裝置能力，另外冷軋板的形狀控制亦變得困難，因此最終道次的壓下率  $r$  通常為 50%以下。

**【0070】 [最終道次的應變速度  $\epsilon_m$ ：100 s<sup>-1</sup> 以上且 1300 s<sup>-1</sup> 以下]**

於冷軋步驟中，最終道次的應變速度  $\epsilon_m$  設為 100 s<sup>-1</sup> 以上且 1300 s<sup>-1</sup> 以下。將最終道次的應變速度  $\epsilon_m$  設為 100 s<sup>-1</sup> 以上且 1300 s<sup>-1</sup> 以下的理由在於，於抑制軋製中的斷裂的同時將所獲得的無方向性電磁鋼板中的結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  設為 2.00 以下，以形成所期望的鋼板組織。

於最終道次的應變速度  $\epsilon_m$  未滿 100 s<sup>-1</sup> 的情況下，冷軋板的結晶粒單位下的剪切應變的不均勻性增強，可強調後續的退火步驟中的核生成及晶粒生長的場所依存性，因此退火板的結晶粒徑分

佈的峰度  $K_1$  變大。其理由未必明確，但發明者等人推測其原因在於，由於應變速度  $\varepsilon_m$  低而導致流動應力降低，應變容易集中於容易變形的結晶方位的結晶粒上，應變分佈不均勻化。另一方面，於最終道次的應變速度  $\varepsilon_m$  超過  $1300 \text{ s}^{-1}$  的情況下，流動應力過度增大，容易發生軋製中的脆性斷裂。

於最終道次的應變速度  $\varepsilon_m$  為  $100 \text{ s}^{-1}$  以上且  $1300 \text{ s}^{-1}$  以下的情況下，於抑制軋製中的斷裂的同時在後述的退火步驟後結晶粒徑分佈的峰度  $K_1$  成為 2.00 以下。其結果，可獲得所期望的鋼板組織。

【0071】 最終道次的應變速度  $\varepsilon_m$  較佳為  $150 \text{ s}^{-1}$  以上，另外，較佳為  $1000 \text{ s}^{-1}$  以下。

【0072】 再者，冷軋時的各道次中的應變速度  $\varepsilon_m$  是使用下述的愛克倫德（Ekelund）的近似式而導出。

[數 1]

$$\varepsilon_m \doteq \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r}$$

此處， $v_R$  為軋圓周速度（mm/s）， $R'$  為軋半徑（mm）， $h_1$  為軋入側板厚（mm）， $r$  為壓下率（%）。

【0073】 （退火步驟）

退火步驟是對經過了冷軋步驟的冷軋板實施退火的步驟。更詳細而言，於退火步驟中，以  $500^\circ\text{C}$  至  $700^\circ\text{C}$  的平均升溫速度  $V_1$

為  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上的條件將經過了冷軋步驟的冷軋板加熱至  $875^{\circ}\text{C}$  以上且  $1050^{\circ}\text{C}$  以下的退火溫度  $T_2$  後，進行冷卻，而獲得冷軋退火板（無方向性電磁鋼板）。再者，於退火步驟之後，可對表面實施絕緣塗佈。作為塗佈的方法及塗佈的種類，並無特別限定，可適用常用的絕緣塗佈步驟。

**【0074】** [ $500^{\circ}\text{C}$  至  $700^{\circ}\text{C}$  的平均升溫速度  $V_1$ ： $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上]

於退火步驟中， $500^{\circ}\text{C}$  至  $700^{\circ}\text{C}$  的平均升溫速度  $V_1$  設為  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上。將平均升溫速度  $V_1$  設為  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上的理由在於，使所獲得的無方向性電磁鋼板中的結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  滿足所述式 (1)，以形成所期望的鋼板組織。

於平均升溫速度  $V_1$  未滿  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  的情況下，由於過度的恢復而導致再結晶核的生成頻率降低，再結晶核數的場所依存性變大。其結果，微細的結晶粒與粗大的結晶粒混合存在，結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  變大，從而不再滿足所述式 (1)。

另一方面，於平均升溫速度  $V_1$  為  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上的情況下，再結晶核的生成頻率變高，再結晶核數的場所依存性變小。其結果，結晶粒徑分佈的標準偏差  $S_1$  變小，從而滿足所述式 (1)。

**【0075】**  $500^{\circ}\text{C}$  至  $700^{\circ}\text{C}$  的平均升溫速度  $V_1$  較佳為  $20^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上，更佳為  $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以上。再者，平均升溫速度  $V_1$  的上限並無特別限定，但若升溫速度過高則容易產生溫度不均，因此平均升溫速度  $V_1$  較佳為  $500^{\circ}\text{C}/\text{s}$  以下。

**【0076】** [退火溫度  $T_2$ ： $875^{\circ}\text{C}$  以上且  $1050^{\circ}\text{C}$  以下]

於退火步驟中，退火溫度  $T_2$  設為  $875^{\circ}\text{C}$  以上且  $1050^{\circ}\text{C}$  以下。將退火溫度  $T_2$  設為  $875^{\circ}\text{C}$  以上且  $1050^{\circ}\text{C}$  以下的理由如下所述。

於退火溫度  $T_2$  未滿  $875^{\circ}\text{C}$  的情況下，再結晶粒無法充分進行晶粒生長，而無法將所獲得的無方向性電磁鋼板中的平均結晶粒徑  $X_1$  設為  $60\ \mu\text{m}$  以上。另一方面，於退火溫度  $T_2$  為  $875^{\circ}\text{C}$  以上的情況下，可產生充分的晶粒生長而可將平均結晶粒徑設為  $60\ \mu\text{m}$  以上，從而可獲得所期望的鋼板組織。退火溫度  $T_2$  較佳為  $900^{\circ}\text{C}$  以上。

另一方面，於退火溫度  $T_2$  超過  $1050^{\circ}\text{C}$  的情況下，再結晶粒過度生長，而無法將平均結晶粒徑  $X_1$  設為  $200\ \mu\text{m}$  以下。因此，退火溫度  $T_2$  設為  $1050^{\circ}\text{C}$  以下。退火溫度  $T_2$  較佳為  $1025^{\circ}\text{C}$  以下。

**【0077】** 於退火步驟中，加熱至所述退火溫度  $T_2$  後進行冷卻。就防止冷卻不均的觀點而言，該冷卻較佳為以  $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$  秒以下的冷卻速度進行。

#### [實施例]

**【0078】** 以下列舉實施例對本發明進行具體說明。但是，本發明並不限定於該些。

#### **【0079】** <冷軋退火板（無方向性電磁鋼板）的製造>

藉由通常公知的方法對具有表 1 所示的成分組成的鋼水進行熔煉，並進行連續鑄造而製成厚度  $230\ \text{mm}$  的板坯（鋼原材料）。藉由對所獲得的板坯實施熱軋，而獲得板厚  $2.0\ \text{mm}$  的熱軋板。藉由公知的方法對所獲得的熱軋板實施熱軋板退火及酸洗，繼而，

實施冷軋直至表 2 所示的板厚為止，從而獲得冷軋板。

【0080】 以表 2 所示的條件對所獲得的冷軋板實施退火，繼而藉由公知的方法實施塗層，從而獲得冷軋退火板（無方向性電磁鋼板）。

【0081】 <評價>

（微觀組織的觀察）

自所獲得的冷軋退火板採集組織觀察用的試驗片。繼而，藉由化學研磨對所採集的試驗片進行減厚並鏡面化，以使於軋製面（ND 面）上相當於板厚的 1/4 的位置成為觀察面。對經鏡面化的觀察面實施電子射線背散射繞射（Electron Back Scattered Diffraction, EBSD）測定，獲得局部方位資料。此時，設為步長：10  $\mu\text{m}$ 、測定區域：100  $\text{mm}^2$  以上。測定區域的寬度於後續的解析中以結晶粒的數量成為 5000 個以上的方式進行適宜調整。再者，測定可以一次掃描於整個區域中進行，亦可利用康寶掃描（Combo Scan）功能將多次的掃描結果加以結合。解析軟體：使用 OIM 分析 8（OIM Analysis 8），對所獲得的局部方位資料進行了解析。

【0082】 於進行資料解析之前，藉由解析軟體的分區屬性（Partition Properties）並以公式（Formula）： $GCI[5.000,2,0.000,0,0,8.0,1,1,1.0,0;] > 0.1$  的條件進行晶粒平均資料點的篩選，將不適於解析的資料點排除。此時，有效的資料點為 98% 以上。

【0083】 對於以如上方式調整後的資料，作為晶粒界的定義，將

晶粒公差角度（Grain Tolerance Angle）設為  $5^\circ$ ，將最小晶粒尺寸（Minimum Grain Size）設為 2，將最小反晶粒尺寸（Minimum Anti Grain Size）設為 2，多數列需求（Multiple Rows Requirement）及反晶粒多數列需求（Anti-grain multiple rows requirement）均設為關（OFF），進行了以下的解析。

對於實施了前處理的資料，使用導出晶粒檔案（Export Grain File）功能輸出結晶粒的資訊。將晶粒檔案類型（Grain File Type）2 的晶粒尺寸（Grain Size）（直徑為微米（Diameter in microns））用作結晶粒徑（ $x_i$ ）。對於所獲得的所有結晶粒的資訊，使用下述式，分別計算出平均結晶粒徑、標準偏差及峰度。所獲得的平均結晶粒徑、標準偏差及峰度為  $X_1$ 、 $S_1$  及  $K_1$ 。

[數 2]

$$\text{平均結晶粒徑 } X_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\text{標準偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_1)^2}$$

$$\text{峰度 } K = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - X_1)^4}{S^4} - 3 \frac{(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

所述式中， $n$  為結晶粒的數量， $x_i$  為各結晶粒徑資料（ $i: 1, 2, \dots, n$ ）。

【0084】（溫態疲勞強度的評價）

自所獲得的冷軋退火板採集以軋製方向為長邊方向的拉伸疲勞試驗片（依照 JIS Z2275：1978 的 1 號試驗片，為與  $b: 15 \text{ mm}$ 、 $R: 100 \text{ mm}$  相同的形狀），供於疲勞試驗。此處，試驗片的端面藉由機械加工而精加工成平滑。所述疲勞試驗是於試驗溫度： $100^\circ\text{C}$ 、拉伸-拉伸（脈動）、應力比（=最小應力/最大應力）： $0.1$  及頻率： $20 \text{ Hz}$  的條件下進行，將於反覆數  $10^7$  次下不會引起疲勞斷裂的最大應力作為溫態疲勞極限。於溫態疲勞極限為  $300 \text{ MPa}$  以上的情況下，評價為溫態疲勞強度優異。

**【0085】** （磁特性的評價）

自所獲得的退火板採集以長度方向為軋製方向及軋製直角方向的寬度  $30 \text{ mm}$ 、長度  $280 \text{ mm}$  的磁測定用試驗片，依照 JIS C2550-1：2011，並藉由愛普斯坦（Epstein）法測定熱處理板的鐵損  $W_{10/400}$ 。於  $W_{10/400} \leq 15.0$ （ $\text{W/kg}$ ）的情況下，評價為鐵損特性良好。

**【0086】** 將上述結果示於表 3。

**【0087】** [表 1]





## 【0088】 [表 2]

表 2

| No. | 鋼種 | 板厚<br>[mm] | 冷軋步驟                        |                          |                                     |            | 退火步驟                         |                                | 備註  |
|-----|----|------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------|------------------------------|--------------------------------|-----|
|     |    |            | 最終道次的<br>工作輥徑<br>D<br>[mmφ] | 最終道次的<br>壓下率<br>r<br>[%] | 最終道次的<br>應變速度<br>[s <sup>-1</sup> ] | 軋製中的<br>斷裂 | 升溫速度V <sub>1</sub><br>[°C/s] | 退火溫度<br>T <sub>2</sub><br>[°C] |     |
| 1   | A  | 0.25       | 230                         | 31                       | 460                                 | -          | 68                           | 920                            | 發明例 |
| 2   | B  | 0.25       | 202                         | 26                       | 740                                 | -          | 76                           | 990                            | 發明例 |
| 3   | C  | 0.25       | 237                         | 31                       | 500                                 | -          | 95                           | 930                            | 發明例 |
| 4   | D  | 0.25       | 232                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 5   | E  | 0.25       | 223                         | 27                       | 730                                 | -          | 88                           | 990                            | 發明例 |
| 6   | F  | 0.25       | 285                         | 23                       | 770                                 | -          | 75                           | 910                            | 發明例 |
| 7   | G  | 0.25       | 206                         | 25                       | 810                                 | -          | 71                           | 950                            | 發明例 |
| 8   | H  | 0.25       | 211                         | 30                       | 450                                 | -          | 56                           | 980                            | 發明例 |
| 9   | I  | 0.25       | 258                         | 24                       | 680                                 | -          | 104                          | 1020                           | 發明例 |
| 10  | J  | 0.25       | 220                         | 29                       | 1000                                | -          | 108                          | 950                            | 發明例 |
| 11  | K  | 0.25       | 201                         | 26                       | 740                                 | -          | 76                           | 990                            | 發明例 |
| 12  | L  | 0.25       | 221                         | 29                       | 1000                                | -          | 104                          | 950                            | 比較例 |
| 13  | M  | 0.25       | 221                         | 29                       | 1000                                | -          | 113                          | 950                            | 發明例 |
| 14  | N  | 0.25       | 220                         | 29                       | 1000                                | -          | 110                          | 950                            | 發明例 |
| 15  | Q  | 0.25       | 254                         | 24                       | 680                                 | -          | 107                          | 1020                           | 比較例 |
| 16  | P  | 0.25       | 253                         | 24                       | 680                                 | -          | 102                          | 1020                           | 發明例 |
| 17  | Q  | 0.25       | 260                         | 24                       | 680                                 | -          | 101                          | 1020                           | 發明例 |
| 18  | R  | 0.25       | 254                         | 24                       | 680                                 | -          | 104                          | 1020                           | 比較例 |
| 19  | T  | 0.25       | 208                         | 30                       | 450                                 | -          | 54                           | 980                            | 發明例 |
| 20  | U  | 0.25       | 210                         | 30                       | 450                                 | -          | 57                           | 980                            | 發明例 |
| 21  | V  | 0.25       | 213                         | 30                       | 450                                 | -          | 56                           | 980                            | 發明例 |
| 22  | W  | 0.25       | 210                         | 30                       | 450                                 | -          | 57                           | 980                            | 比較例 |
| 23  | X  | 0.25       | 238                         | 23                       | 340                                 | -          | 104                          | 960                            | 比較例 |
| 24  | Y  | 0.25       | 218                         | 27                       | 730                                 | -          | 86                           | 990                            | 發明例 |
| 25  | Z  | 0.25       | 224                         | 27                       | 730                                 | -          | 92                           | 990                            | 發明例 |
| 26  | AA | 0.25       | 219                         | 27                       | 730                                 | -          | 92                           | 990                            | 發明例 |
| 27  | AB | 0.25       | 219                         | 27                       | 730                                 | -          | 92                           | 990                            | 發明例 |
| 28  | AC | 0.25       | 223                         | 27                       | 730                                 | -          | 92                           | 990                            | 發明例 |
| 29  | AD | 0.25       | 218                         | 27                       | 730                                 | -          | 86                           | 990                            | 發明例 |
| 30  | AE | 0.25       | 227                         | 27                       | 730                                 | -          | 89                           | 990                            | 發明例 |
| 31  | AF | 0.25       | 227                         | 27                       | 730                                 | -          | 84                           | 990                            | 發明例 |
| 32  | A  | 0.25       | <u>135</u>                  | 31                       | 460                                 | -          | 67                           | 920                            | 比較例 |
| 33  | A  | 0.25       | 158                         | 31                       | 460                                 | -          | 68                           | 920                            | 發明例 |
| 34  | A  | 0.25       | 169                         | 31                       | 460                                 | -          | 70                           | 920                            | 發明例 |
| 35  | A  | 0.25       | 235                         | <u>12</u>                | 460                                 | -          | 71                           | 920                            | 比較例 |
| 36  | A  | 0.25       | 234                         | 17                       | 460                                 | -          | 70                           | 920                            | 發明例 |
| 37  | C  | 0.25       | 236                         | 31                       | <u>90</u>                           | -          | 95                           | 930                            | 比較例 |
| 38  | C  | 0.25       | 235                         | 31                       | 120                                 | -          | 96                           | 930                            | 發明例 |
| 39  | C  | 0.25       | 237                         | 31                       | 1090                                | 一部分斷裂      | 97                           | 930                            | 發明例 |
| 40  | C  | 0.25       | 237                         | 31                       | <u>1360</u>                         | 總量斷裂       | -                            | -                              | 比較例 |
| 41  | C  | 0.25       | 234                         | 31                       | 500                                 | -          | <u>9</u>                     | 930                            | 比較例 |
| 42  | C  | 0.25       | 243                         | 31                       | 500                                 | -          | 16                           | 930                            | 發明例 |
| 43  | C  | 0.25       | 242                         | 31                       | 500                                 | -          | 39                           | 930                            | 發明例 |
| 44  | F  | 0.25       | 291                         | 23                       | 770                                 | -          | 72                           | <u>870</u>                     | 比較例 |
| 45  | F  | 0.25       | 283                         | 23                       | 770                                 | -          | 77                           | 890                            | 發明例 |
| 46  | F  | 0.25       | 292                         | 23                       | 770                                 | -          | 78                           | 1030                           | 發明例 |
| 47  | F  | 0.25       | 278                         | 23                       | 770                                 | -          | 73                           | <u>1060</u>                    | 比較例 |

註) 下劃線部分表示發明範圍外

表 2 (續頁)

| No. | 鋼種 | 板厚<br>[mm] | 冷軋步驟                        |                          |                                     |            | 退火步驟                         |                                | 備註  |
|-----|----|------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------|------------------------------|--------------------------------|-----|
|     |    |            | 最終道次的<br>工作輥徑<br>D<br>[mmφ] | 最終道次的<br>壓下率<br>r<br>[%] | 最終道次的<br>應變速度<br>[s <sup>-1</sup> ] | 軋製中的<br>斷裂 | 升溫速度V <sub>1</sub><br>[°C/s] | 退火溫度<br>T <sub>2</sub><br>[°C] |     |
| 48  | AG | 0.25       | 221                         | 27                       | 730                                 | -          | 84                           | 990                            | 發明例 |
| 49  | AH | 0.25       | 221                         | 27                       | 730                                 | -          | 92                           | 990                            | 發明例 |
| 50  | AI | 0.25       | 227                         | 27                       | 730                                 | -          | 85                           | 990                            | 發明例 |
| 51  | AJ | 0.25       | 221                         | 27                       | 730                                 | -          | 88                           | 990                            | 發明例 |
| 52  | AK | 0.25       | 218                         | 27                       | 730                                 | -          | 90                           | 990                            | 發明例 |
| 53  | AL | 0.25       | 225                         | 27                       | 730                                 | -          | 86                           | 990                            | 發明例 |
| 54  | AM | 0.25       | 223                         | 27                       | 730                                 | -          | 86                           | 990                            | 發明例 |
| 55  | AN | 0.25       | 227                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 56  | AO | 0.25       | 228                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 57  | AP | 0.25       | 229                         | 23                       | 340                                 | -          | 92                           | 960                            | 發明例 |
| 58  | AQ | 0.25       | 238                         | 23                       | 340                                 | -          | 85                           | 960                            | 發明例 |
| 59  | AR | 0.25       | 232                         | 23                       | 340                                 | -          | 85                           | 960                            | 發明例 |
| 60  | AS | 0.25       | 233                         | 23                       | 340                                 | -          | 85                           | 960                            | 發明例 |
| 61  | AT | 0.25       | 227                         | 23                       | 340                                 | -          | 87                           | 960                            | 發明例 |
| 62  | AU | 0.25       | 228                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 63  | AV | 0.25       | 238                         | 23                       | 340                                 | -          | 87                           | 960                            | 發明例 |
| 64  | AW | 0.25       | 237                         | 23                       | 340                                 | -          | 84                           | 960                            | 發明例 |
| 65  | AX | 0.25       | 232                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 66  | AY | 0.25       | 235                         | 23                       | 340                                 | -          | 92                           | 960                            | 發明例 |
| 67  | AZ | 0.25       | 230                         | 23                       | 340                                 | -          | 90                           | 960                            | 發明例 |
| 68  | BA | 0.25       | 232                         | 23                       | 340                                 | -          | 89                           | 960                            | 發明例 |
| 69  | BB | 0.25       | 236                         | 23                       | 340                                 | -          | 90                           | 960                            | 發明例 |
| 70  | BC | 0.25       | 237                         | 23                       | 340                                 | -          | 84                           | 960                            | 發明例 |
| 71  | BD | 0.25       | 231                         | 23                       | 340                                 | -          | 89                           | 960                            | 發明例 |
| 72  | BE | 0.25       | 227                         | 23                       | 340                                 | -          | 89                           | 960                            | 發明例 |
| 73  | BF | 0.25       | 227                         | 23                       | 340                                 | -          | 89                           | 960                            | 發明例 |
| 74  | BG | 0.25       | 235                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 75  | BH | 0.25       | 235                         | 23                       | 340                                 | -          | 91                           | 960                            | 發明例 |
| 76  | BI | 0.25       | 238                         | 23                       | 340                                 | -          | 85                           | 960                            | 發明例 |
| 77  | BJ | 0.25       | 227                         | 23                       | 340                                 | -          | 90                           | 960                            | 發明例 |
| 78  | BK | 0.25       | 232                         | 23                       | 340                                 | -          | 87                           | 960                            | 發明例 |
| 79  | BL | 0.25       | 233                         | 23                       | 340                                 | -          | 88                           | 960                            | 發明例 |
| 80  | BM | 0.25       | 227                         | 23                       | 340                                 | -          | 91                           | 960                            | 發明例 |
| 81  | BN | 0.25       | 235                         | 23                       | 340                                 | -          | 85                           | 960                            | 發明例 |
| 82  | BO | 0.25       | 226                         | 23                       | 340                                 | -          | 89                           | 960                            | 發明例 |

註) 下劃線部分表示發明範圍外

## 【0089】 [表 3]

表 3

| No. | 冷軋退火板（無方向性電磁鋼板） |               |             |                        | 溫態疲勞極限<br>$\sigma_{\max}$<br>(MPa) | 鐵損<br>$W_{10400}$<br>(W/kg) | 備註  |
|-----|-----------------|---------------|-------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----|
|     | 平均結晶粒徑<br>$X_1$ | 標準偏差<br>$S_1$ | $S_1/X_1$   | 結晶粒徑<br>分佈的峰度<br>$K_1$ |                                    |                             |     |
| 1   | 75              | 41.3          | 0.55        | 0.16                   | 440                                | 12.7                        | 發明例 |
| 2   | 93              | 61.4          | 0.66        | 0.24                   | 410                                | 12.2                        | 發明例 |
| 3   | 94              | 63.0          | 0.67        | 0.36                   | 400                                | 11.1                        | 發明例 |
| 4   | 116             | 75.4          | 0.65        | 0.35                   | 380                                | 12.8                        | 發明例 |
| 5   | 92              | 48.8          | 0.53        | 0.55                   | 410                                | 13.1                        | 發明例 |
| 6   | 74              | 42.2          | 0.57        | 0.10                   | 460                                | 9.7                         | 發明例 |
| 7   | 109             | 73.0          | 0.67        | 0.05                   | 400                                | 10.9                        | 發明例 |
| 8   | 106             | 57.2          | 0.54        | 0.28                   | 360                                | 12.3                        | 發明例 |
| 9   | 148             | 79.9          | 0.54        | 0.29                   | 360                                | 10.5                        | 發明例 |
| 10  | 86              | 52.5          | 0.61        | 0.52                   | 410                                | 11.5                        | 發明例 |
| 11  | 113             | 78.0          | 0.69        | 0.24                   | 340                                | 14.6                        | 發明例 |
| 12  | 92              | 58.0          | 0.63        | 0.41                   | 350                                | <u>15.3</u>                 | 比較例 |
| 13  | 103             | 62.8          | 0.61        | 0.46                   | 360                                | 14.3                        | 發明例 |
| 14  | 104             | 68.6          | 0.66        | 0.41                   | 430                                | 11.9                        | 發明例 |
| 15  | 121             | 65.3          | 0.54        | 0.26                   | 390                                | <u>15.9</u>                 | 比較例 |
| 16  | 99              | 54.5          | 0.55        | 0.33                   | 420                                | 14.2                        | 發明例 |
| 17  | 97              | 53.4          | 0.55        | 0.26                   | 430                                | 13.5                        | 發明例 |
| 18  | 128             | 73.0          | 0.57        | 0.25                   | 390                                | <u>16.0</u>                 | 比較例 |
| 19  | 89              | 50.7          | 0.57        | 0.34                   | 370                                | 14.9                        | 發明例 |
| 20  | 93              | 49.3          | 0.53        | 0.25                   | 360                                | 14.9                        | 發明例 |
| 21  | 100             | 57.0          | 0.57        | 0.31                   | 380                                | 14.2                        | 發明例 |
| 22  | 118             | 61.4          | 0.52        | 0.26                   | 350                                | <u>15.5</u>                 | 比較例 |
| 23  | 97              | 63.1          | 0.65        | <u>2.16</u>            | <u>270</u>                         | <u>15.9</u>                 | 比較例 |
| 24  | 136             | 74.8          | 0.55        | 0.65                   | 450                                | 10.5                        | 發明例 |
| 25  | 87              | 42.6          | 0.49        | 0.54                   | 460                                | 11.7                        | 發明例 |
| 26  | 114             | 61.6          | 0.54        | 0.45                   | 380                                | 9.7                         | 發明例 |
| 27  | 90              | 45.0          | 0.50        | 0.50                   | 410                                | 10.9                        | 發明例 |
| 28  | 92              | 50.6          | 0.55        | 0.64                   | 410                                | 10.0                        | 發明例 |
| 29  | 109             | 57.8          | 0.53        | 0.49                   | 380                                | 10.1                        | 發明例 |
| 30  | 87              | 49.6          | 0.57        | 0.44                   | 420                                | 11.4                        | 發明例 |
| 31  | 131             | 69.4          | 0.53        | 0.45                   | 360                                | 11.2                        | 發明例 |
| 32  | 105             | 57.8          | 0.55        | <u>2.21</u>            | <u>290</u>                         | <u>15.6</u>                 | 比較例 |
| 33  | 68              | 37.4          | 0.55        | 1.67                   | 300                                | 14.1                        | 發明例 |
| 34  | 91              | 50.1          | 0.55        | 1.14                   | 320                                | 14.0                        | 發明例 |
| 35  | 83              | 65.6          | <u>0.79</u> | <u>2.08</u>            | <u>280</u>                         | <u>15.6</u>                 | 比較例 |
| 36  | 107             | 78.1          | 0.73        | 1.23                   | 330                                | 14.1                        | 發明例 |
| 37  | 105             | 67.2          | 0.64        | <u>2.15</u>            | <u>280</u>                         | <u>15.6</u>                 | 比較例 |
| 38  | 87              | 53.9          | 0.62        | 1.18                   | 310                                | 13.5                        | 發明例 |
| 39  | 85              | 53.6          | 0.63        | 0.34                   | 460                                | 12.0                        | 發明例 |
| 40  | -               | -             | -           | -                      | -                                  | -                           | 比較例 |
| 41  | 90              | 72.9          | <u>0.81</u> | 0.28                   | <u>290</u>                         | <u>16.0</u>                 | 比較例 |
| 42  | 79              | 57.7          | 0.73        | 0.43                   | 320                                | 13.9                        | 發明例 |
| 43  | 114             | 80.9          | 0.71        | 0.40                   | 340                                | 13.4                        | 發明例 |
| 44  | <u>56</u>       | 28.6          | 0.51        | 0.11                   | 270                                | <u>16.0</u>                 | 比較例 |
| 45  | 72              | 38.2          | 0.53        | 0.09                   | 320                                | 13.8                        | 發明例 |
| 46  | 179             | 97.3          | 0.54        | 0.11                   | 310                                | 10.6                        | 發明例 |
| 47  | <u>207</u>      | 114.5         | 0.55        | 0.08                   | <u>280</u>                         | 12.4                        | 比較例 |

註) 下劃線部分表示發明範圍外

表 3 (續頁)

| No. | 冷軋退火板 (無方向性電磁鋼板) |               |           |                        | 溫態疲勞極限<br>$\sigma_{max}$<br>(MPa) | 鐵損<br>$W_{10/400}$<br>(W/kg) | 備註  |
|-----|------------------|---------------|-----------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----|
|     | 平均結晶粒徑<br>$X_1$  | 標準偏差<br>$S_1$ | $S_1/X_1$ | 結晶粒徑<br>分佈的峰度<br>$K_1$ |                                   |                              |     |
| 48  | 87               | 47.9          | 0.55      | 0.51                   | 450                               | 9.8                          | 發明例 |
| 49  | 90               | 45.0          | 0.50      | 0.53                   | 410                               | 9.8                          | 發明例 |
| 50  | 92               | 49.7          | 0.54      | 0.56                   | 410                               | 9.9                          | 發明例 |
| 51  | 97               | 52.4          | 0.54      | 0.58                   | 420                               | 9.9                          | 發明例 |
| 52  | 96               | 48.0          | 0.50      | 0.56                   | 410                               | 9.9                          | 發明例 |
| 53  | 85               | 47.6          | 0.56      | 0.50                   | 400                               | 9.9                          | 發明例 |
| 54  | 93               | 58.6          | 0.63      | 0.57                   | 410                               | 9.9                          | 發明例 |
| 55  | 118              | 79.1          | 0.67      | 0.34                   | 380                               | 13.0                         | 發明例 |
| 56  | 115              | 78.2          | 0.68      | 0.37                   | 390                               | 13.0                         | 發明例 |
| 57  | 120              | 78.0          | 0.65      | 0.33                   | 370                               | 13.0                         | 發明例 |
| 58  | 112              | 73.9          | 0.66      | 0.38                   | 390                               | 13.0                         | 發明例 |
| 59  | 97               | 64.0          | 0.66      | 0.34                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 60  | 111              | 76.6          | 0.69      | 0.36                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 61  | 104              | 69.7          | 0.67      | 0.38                   | 440                               | 12.5                         | 發明例 |
| 62  | 106              | 71.0          | 0.67      | 0.32                   | 420                               | 12.5                         | 發明例 |
| 63  | 97               | 66.0          | 0.68      | 0.39                   | 440                               | 12.5                         | 發明例 |
| 64  | 101              | 69.7          | 0.69      | 0.36                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 65  | 104              | 70.7          | 0.68      | 0.35                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 66  | 105              | 72.5          | 0.69      | 0.36                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 67  | 105              | 63.0          | 0.60      | 0.39                   | 440                               | 12.5                         | 發明例 |
| 68  | 106              | 73.1          | 0.69      | 0.37                   | 440                               | 12.5                         | 發明例 |
| 69  | 99               | 67.3          | 0.68      | 0.38                   | 440                               | 12.5                         | 發明例 |
| 70  | 97               | 67.9          | 0.70      | 0.38                   | 440                               | 12.5                         | 發明例 |
| 71  | 101              | 64.6          | 0.64      | 0.33                   | 420                               | 12.5                         | 發明例 |
| 72  | 106              | 70.0          | 0.66      | 0.31                   | 420                               | 12.5                         | 發明例 |
| 73  | 115              | 69.0          | 0.60      | 0.33                   | 380                               | 12.5                         | 發明例 |
| 74  | 116              | 73.1          | 0.63      | 0.40                   | 390                               | 12.5                         | 發明例 |
| 75  | 110              | 69.3          | 0.63      | 0.36                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 76  | 106              | 66.8          | 0.63      | 0.33                   | 420                               | 12.5                         | 發明例 |
| 77  | 105              | 69.3          | 0.66      | 0.32                   | 420                               | 12.5                         | 發明例 |
| 78  | 105              | 67.2          | 0.64      | 0.34                   | 430                               | 12.5                         | 發明例 |
| 79  | 117              | 76.1          | 0.65      | 0.31                   | 370                               | 10.2                         | 發明例 |
| 80  | 115              | 75.9          | 0.66      | 0.38                   | 390                               | 10.2                         | 發明例 |
| 81  | 121              | 82.3          | 0.68      | 0.39                   | 390                               | 10.2                         | 發明例 |
| 82  | 112              | 76.2          | 0.68      | 0.38                   | 390                               | 10.2                         | 發明例 |

註) 下劃線部分表示發明範圍外

【0090】 根據表 3 的結果可知，根據本發明的無方向性電磁鋼板均兼顧了優異的疲勞強度與優異的鐵損特性。再者，根據本發明的、將積層冷軋退火板而成的轉子鐵芯與積層該熱處理板而成的定子鐵芯組合而獲得的馬達鐵芯具有優異的疲勞特性。

【0091】 進而，出於恢復由衝壓時的應變引起的鐵損減少之目的

而對鋼板實施應變消除退火，結果對本發明的效果無任何影響，  
可兼顧優異的疲勞強度與優異的鐵損特性。

## 【符號說明】

## 【0092】

無

**【發明申請專利範圍】**

**【請求項1】** 一種無方向性電磁鋼板，其特徵在於具有如下成分組成，即，

以質量%計包含：

C：0.01%以下、

Si：2.0%以上且未滿4.5%、

Mn：0.05%以上且5.00%以下、

P：0.1%以下、

S：0.01%以下、

Al：3.0%以下以及

N：0.0050%以下，

且Si+Al未滿4.5%，且剩餘部分為Fe及不可避免的雜質，

關於鋼板中的結晶粒，平均結晶粒徑 $X_1$ 為60  $\mu\text{m}$ 以上且200  $\mu\text{m}$ 以下，結晶粒徑分佈的標準偏差 $S_1$ 滿足下式(1)：

$$S_1/X_1 < 0.75 \quad \dots (1),$$

且結晶粒徑分佈的峰度 $K_1$ 為2.00以下。

**【請求項2】** 如請求項1所述的無方向性電磁鋼板，其中，

所述成分組成中，更包含下述A群組、B群組、C群組、D群組及E群組中的至少一群組，

A群組，以質量%計包含：

Co：0.0005%以上且 0.0050%以下

B 群組，以質量%計包含：

Cr：0.05%以上且 5.00%以下

C 群組，以質量%計包含：

Ca：0.001%以上且 0.100%以下、

Mg：0.001%以上且 0.100%以下以及

稀土金屬：0.001%以上且 0.100%以下

中的任意一種或兩種以上

D 群組，以質量%計包含：

Sn：0.001%以上且 0.200%以下以及

Sb：0.001%以上且 0.200%以下

中的任意一種或兩種

E 群組，以質量%計包含：

Cu：0%以上且 0.5%以下、

Ni：0%以上且 0.5%以下、

Ti：0%以上且 0.005%以下、

Nb：0%以上且 0.005%以下、

V：0%以上且 0.010%以下、

Ta：0%以上且 0.002%以下、

B：0%以上且 0.002%以下、

Ga：0%以上且 0.005%以下、

Pb：0%以上且 0.002%以下、

Zn：0%以上且 0.005%以下、

Mo：0%以上且 0.05%以下、

W：0%以上且 0.05%以下、

Ge：0%以上且 0.05%以下以及

As：0%以上且 0.05%以下

中的任意一種或兩種以上。

【請求項3】 一種無方向性電磁鋼板的製造方法，為製造如請求項 1 或請求項 2 所述的無方向性電磁鋼板的方法，所述無方向性電磁鋼板的製造方法包括：

熱軋步驟，對具有如請求項 1 或請求項 2 所述的成分組成的鋼原材料實施熱軋而獲得熱軋板；

酸洗步驟，對所述熱軋板實施酸洗；

冷軋步驟，以最終道次的工作輥徑  $D$  為  $150\text{ mm}\phi$  以上、最終道次的壓下率  $r$  為 15%以上、以及最終道次的應變速度  $\varepsilon_m$  為  $100\text{ s}^{-1}$  以上且  $1300\text{ s}^{-1}$  以下的條件對實施了所述酸洗的所述熱軋板實施冷軋而獲得冷軋板；以及

退火步驟，以  $500^\circ\text{C}$  至  $700^\circ\text{C}$  的平均升溫速度  $V_1$  為  $10^\circ\text{C}/\text{s}$  以上的條件將所述冷軋板加熱至  $875^\circ\text{C}$  以上且  $1050^\circ\text{C}$  以下的退火溫度  $T_2$  後，進行冷卻，而獲得作為無方向性電磁鋼板的冷軋退火板。