



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201610179 A

(43) 公開日：中華民國 105 (2016) 年 03 月 16 日

(21) 申請案號：104128044

(22) 申請日：中華民國 104 (2015) 年 08 月 27 日

(51) Int. Cl. :

C22C38/06 (2006.01)

C22C38/12 (2006.01)

C22C38/14 (2006.01)

C22C38/34 (2006.01)

C21D8/02 (2006.01)

C21D8/12 (2006.01)

C21D9/46 (2006.01)

B21B3/02 (2006.01)

(30) 優先權：2014/08/27 日本

2014-172993

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

日本

(72) 發明人：大久保智幸 OKUBO, TOMOYUKI (JP) ; 尾田善彦 ODA, YOSHIHIKO (JP) ; 中島宏章 NAKAJIMA, HIROAKI (JP)

(74) 代理人：葉璟宗；鄭婷文；詹富閔

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：6 項 圖式數：1 共 22 頁

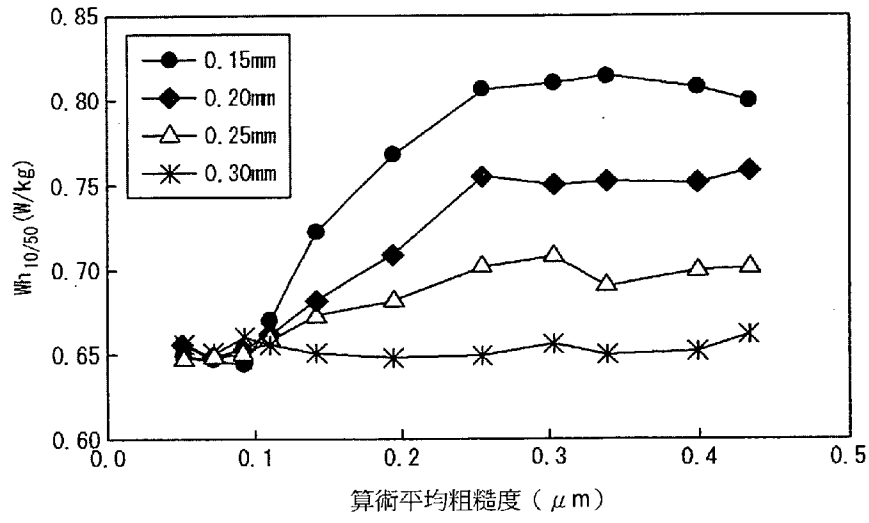
(54) 名稱

無方向性電磁鋼板及其製造方法

(57) 摘要

本發明提供一種比先前進一步降低了鐵損的無方向性電磁鋼板。本發明的無方向性電磁鋼板具有以質量%計含有：C：0.05%以下、Si：0.1%以上且 7.0%以下、Al：0.1%以上且 3.0%以下、Mn：0.03%以上且 3.0%以下、P：0.2%以下、S：0.005%以下、N：0.005%以下、及 O：0.01%以下，進而任意地含有規定量的 Sn、Sb、Ca、Mg、REM、Cr、Ti、Nb、V 及 Zr 中的一種或兩種以上，剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質的成分組成，板厚小於 0.30 mm，截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 為 0.2  $\mu\text{m}$  以下。

指定代表圖：



【圖1】



201610179

## 【發明摘要】

申請日：104.8.27

IPC分類：  
C22C38/06(2006.01)  
C22C38/12(2006.01)  
C22C38/14(2006.01)  
C22C38/34(2006.01)  
C21D8/02(2006.01)  
C21D8/12(2006.01)  
C21D9/46(2006.01)  
B21B3/02(2006.01)

【中文發明名稱】無方向性電磁鋼板及其製造方法

【中文】

本發明提供一種比先前進一步降低了鐵損的無方向性電磁鋼板。本發明的無方向性電磁鋼板具有以質量%計含有：C：0.05%以下、Si：0.1%以上且7.0%以下、Al：0.1%以上且3.0%以下、Mn：0.03%以上且3.0%以下、P：0.2%以下、S：0.005%以下、N：0.005%以下、及O：0.01%以下，進而任意地含有規定量的Sn、Sb、Ca、Mg、REM、Cr、Ti、Nb、V及Zr中的一種或兩種以上，剩餘部分包含Fe及不可避免的雜質的成分組成，板厚小於0.30mm，截止波長 $\lambda_c=20\mu\text{m}$ 下的基底鐵表面的算術平均粗糙度Ra為0.2 $\mu\text{m}$ 以下。

【指定代表圖】圖1。

【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適合於混合動力車(Hybrid Electric vehicle, HEV)或電力車(Electric Vehicle, EV)的驅動馬達等以相對高的速度旋轉的馬達的鐵心材料的無方向性電磁鋼板及其製造方法。

【先前技術】

【0002】無方向性電磁鋼板為用作馬達或變壓器的鐵心的材料，自提高該些電子機器的效率的觀點考慮，要求低鐵損。對於降低鐵損而言有效的是固有電阻的增加或薄板化，但存在如下問題，即，在固有電阻的增加中合金成本增加，在薄板化中壓延或退火的成本增加，從而期望確立新的鐵損降低方法。

【0003】作為固有電阻的增加或薄板化以外的鐵損降低方法，在方向性電磁鋼板中，眾所周知的是將矽酸鎂石(forsterite)被膜加以去除而使表面平滑化，藉此降低磁滯損耗(hysteresis loss)。這是因為表面的凹凸減少而磁壁容易移動。專利文獻1中提出如下技術：將最終完工退火(final finish annealing)前的鋼板的表面粗糙度設為以算術平均粗糙度Ra計為0.3 μm以下，使用氧化鋁系分離劑作為退火分離劑。

【0004】與此相對，認為無方向性電磁鋼板中表面粗糙度對鐵損所造成的影響小。作為降低無方向性電磁鋼板的表面粗糙度的技

術，提出了專利文獻 2、專利文獻 3。專利文獻 2 中記載了藉由將鋼板表面的 Ra 設為 0.5  $\mu\text{m}$  以下，而抑制了佔空因數( space.factor) 的降低的無方向性電磁鋼板。專利文獻 3 中記載了含有 1.5 質量% 以上且 20 質量%以下的鉻(Cr)，且藉由將鋼板表面的 Ra 設為 0.5  $\mu\text{m}$  以下而降低了高頻下的鐵損的無方向性電磁鋼板。

[現有技術文獻]

[專利文獻]

【0005】 [專利文獻 1]日本專利特開 2009-228117 號公報

[專利文獻 2]日本專利特開 2001-192788 號公報

[專利文獻 3]日本專利特開 2001-279403 號公報。

【發明內容】

[發明所欲解決之課題]

【0006】 然而，專利文獻 1 中提出的技術是關於方向性電磁鋼板的技術，並未對降低無方向性電磁鋼板的鐵損進行任何的提示。

而且，專利文獻 2 中記載的技術雖是關於無方向性電磁鋼板的技術，但目的在於改善佔空因數，並不旨在降低鐵損。專利文獻 3 中提出的技術旨在降低無方向性電磁鋼板的高頻鐵損，但要求進一步降低鐵損。

【0007】 本發明目的在於鑒於所述課題，提供比先前進一步降低了鐵損的無方向性電磁鋼板及其製造方法。

[解決課題之手段]

【0008】 本發明者等人對表面凹凸的影響進行了如下的考察，關

於表面粗糙度的控制獲得了新的構思。即，在對表面有凹凸的鋼板施加外部磁場而使磁壁移動的情況下，相應於磁壁的移動而表面的靜磁能量增加，因而磁壁接受恢復力。該恢復力不僅受到凹凸的深度的影響，且亦受到凹凸的波長的影響。即，認為在具有以比磁壁的移動距離大的波長發生變化的凹凸時，即便磁壁移動，靜磁能量的變化亦小，因而磁壁所受到的恢復力小。相反，在具有以比磁壁的移動距離小的波長發生變化的凹凸（即細小的凹凸）時，對磁壁作用大的恢復力。

【0009】 方向性電磁鋼板的結晶粒徑為 10 mm 左右，磁區寬度為 1 mm 左右，因而磁壁的移動距離為 1 mm 左右。與此相對，無方向性電磁鋼板的結晶粒徑為 100  $\mu\text{m}$  左右，磁區寬度、磁壁的移動距離均非常小，為 10  $\mu\text{m}$  左右。因此，本發明者等人認為，為了降低無方向性電磁鋼板的鐵損，需要對在數十微米（ $\mu\text{m}$ ）左右的截止波長下去除長波長側的起伏所得的微小凹凸進行評價，並減少該微小凹凸。以下，將該微小凹凸亦稱作「微粗糙度」。

【0010】 專利文獻 1 中針對方向性電磁鋼板，專利文獻 2、專利文獻 3 中針對無方向性電磁鋼板，記載了減小鋼板表面的 Ra。然而，截止波長不明，且未著眼於所述微粗糙度。本發明者等人關注的是比磁壁的移動距離小的波長的微粗糙度，從而技術思想與先前技術在根本上有所不同。

【0011】 基於所述構思，本發明者等人進行了積極研究，結果可知，若以通常的製法將無方向性電磁鋼板的板厚設為小於 0.30 mm

則抑制磁滯損耗增加，而且，若降低微粗糙度則抑制該磁滯損耗的增加，從而完成本發明。

【0012】 解決所述課題的本發明的要旨構成如下。

(1) 一種無方向性電磁鋼板，其特徵在於，具有以質量%計含有：

碳 (C)：0.05%以下，

矽 (Si)：0.1%以上且 7.0%以下，

鋁 (Al)：0.1%以上且 3.0%以下，

錳 (Mn)：0.03%以上且 3.0%以下，

磷 (P)：0.2%以下，

硫 (S)：0.005%以下，

氮 (N)：0.005%以下，及

氧 (O)：0.01%以下，

剩餘部分包含鐵 (Fe) 及不可避免的雜質的成分組成，

板厚小於 0.30 mm，

截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 為 0.2  $\mu\text{m}$  以下。

【0013】 (2) 根據所述 (1) 所述的無方向性電磁鋼板，其特徵在於：所述成分組成以質量%計含有合計為 0.01%以上且 0.2%以下的錫 (Sn) 及銻 (Sb) 的一種或兩種。

【0014】 (3) 根據所述 (1) 或 (2) 所述的無方向性電磁鋼板，其特徵在於：所述成分組成以質量%計含有合計為 0.0005%以上且

0.010%以下的鈣 (Ca)、鎂 (Mg) 及稀土金屬 (REM) 中的一種或兩種以上。

【0015】 (4) 根據所述 (1) 至 (3) 中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其特徵在於：所述成分組成以質量%計含有 Cr：0.1% 以上且 20% 以下。

【0016】 (5) 根據所述 (1) 至 (4) 中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其特徵在於：所述成分組成以質量%計含有合計為 0.01% 以上且 1.0% 以下的鈦 (Ti)、鎳 (Nb)、釩 (V) 及銦 (Zr) 中的一種或兩種以上。

【0017】 (6) 一種無方向性電磁鋼板的製造方法，其特徵在於：  
對具有所述 (1) 至 (5) 中任一項所述的成分組成的鋼坯進行加熱，

對該鋼坯進行熱軋而形成熱軋鋼板，

對該熱軋鋼板實施或不實施熱軋板退火，

對所述熱軋鋼板，實施一次冷軋或夾有中間退火的兩次以上的冷軋，而形成板厚小於 0.30 mm 的冷軋鋼板，

對所述冷軋鋼板實施完工退火，

所述無方向性電磁鋼板的製造方法的特徵在於：

將最後冷軋的最終道次的壓延軋表面的截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的算術平均粗糙度 Ra 設為  $0.2 \mu\text{m}$  以下。

[發明的效果]

【0018】 根據本發明的無方向性電磁鋼板，藉由降低了基底鐵表



面的微粗糙度，不會對鋼成分施加大的限制便可降低鐵損。

而且，根據本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法，可有利地製造降低基底鐵表面的微粗糙度且降低了鐵損的無方向性電磁鋼板。

### 【圖式簡單說明】

#### 【0019】

圖 1 是表示各種板厚下的基底鐵表面的算術平均粗糙度  $R_a$  (截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$ ) 與磁滯損耗  $W_{h10/50}$  的關係的曲線圖。

### 【實施方式】

#### 【0020】 (無方向性電磁鋼板)

以下，對本發明的一實施形態的無方向性電磁鋼板進行說明。首先，對鋼的成分組成的限定理由進行敘述。另外，本說明書中，表示各成分元素的含量的「%」是指「質量%」。

#### 【0021】 C：0.05%以下

C 可用於鋼的強度提昇。若 C 含量超過 0.05%，則加工變得困難，因而 C 含量的上限設為 0.05%。在不用於強度提昇的情況下，為了抑制磁時效，較佳為降低至 0.005%以下。

#### 【0022】 Si：0.1%以上且 7.0%以下

Si 具有藉由添加 0.1%以上而使鋼的電阻率增加並降低鐵損的效果。然而，若添加超過 7.0%則鐵損反而會變差。因此，Si 含量的範圍設為 0.1%以上且 7.0%以下。自鐵損與加工性的平衡的觀點考慮，更佳的範圍為 1.0%以上且 5.0%以下。

**【0023】 Al：0.1%以上且 3.0%以下**

Al 具有藉由添加 0.1%以上而使鋼的電阻率增加並降低鐵損的效果。然而，若添加超過 3.0%則鑄造變得困難。因此，Al 含量設為 0.1%以上且 3.0%以下。更佳的範圍為 0.3%以上且 1.5%以下。

**【0024】 Mn：0.03%以上且 3.0%以下**

Mn 藉由添加 0.03%以上而可防止鋼的熱脆性。而且，亦具有使電阻率增加並降低鐵損的效果。若添加超過 3.0%則鐵損反而會增加，因而 Mn 含量的範圍設為 0.03%以上且 3.0%以下。更佳的範圍為 0.1%以上且 2.0%以下。

**【0025】 P：0.2%以下**

P 可用於鋼的強化。然而，若添加超過 0.2%則鋼脆化而加工變得困難。因此，P 含量設為 0.2%以下。更佳的範圍為 0.01%以上且 0.1%以下。

**【0026】 S：0.005%以下**

若 S 含量超過 0.005%，則硫化錳（MnS）等析出物增加，粒成長性劣化。因此，S 含量的上限設為 0.005%。更佳的範圍為 0.003%以下。

**【0027】 N：0.005%以下**

若 N 含量超過 0.005%，則氮化鋁（AlN）等析出物增加，粒成長性劣化。因此，N 含量的上限設為 0.005%。更佳的範圍為 0.003%以下。

**【0028】 O：0.01%以下**

若 O 含量超過 0.01%，則氧化物增加，粒成長性劣化。因此，O 含量的上限設為 0.01%。更佳的範圍設為 0.005%以下。

【0029】 除所述成分外亦可添加以下的成分。

【0030】 Sn、Sb：合計為 0.01%以上且 0.2%以下

Sn、Sb 具有藉由添加 0.01%以上而減少再結晶集合組織的 [111]結晶粒並提高磁通密度的效果。而且，亦具有利用完工退火或去應變退火而防止氮化・氧化，並抑制鐵損的增加的效果。即便添加超過 0.2%效果亦飽和，因而 Sn、Sb 合計含量的範圍設為 0.01%以上且 0.2%以下。更佳的範圍為 0.02%以上且 0.1%以下。

【0031】 Ca、Mg、REM：合計為 0.0005%以上且 0.010%以下

Ca、Mg、REM 具有藉由添加 0.0005%以上而使硫化物粗大化並改善粒成長性的效果。若添加超過 0.010%則粒成長性反而會變差，因而 Ca、Mg、REM 合計含量的範圍設為 0.0005%以上且 0.010%以下。更佳的範圍為 0.001%以上且 0.005%以下。

【0032】 Cr：0.1%以上且 20%以下

Cr 具有添加 0.1%以上則使鋼的電阻率增加並降低鐵損的效果。因鋼的硬度小故可大量添加，但若添加超過 20%則脫碳變得困難，碳化物析出而使鐵損劣化。因此，Cr 含量設為 0.1%以上且 20%以下。更佳的範圍為 1.0%以上且 10%以下。

【0033】 Ti、Nb、V、Zr：合計為 0.01%以上且 1.0%以下

Ti、Nb、V、Zr 為碳化物・氮化物形成元素，藉由添加 0.01%以上而可提高鋼的強度。即便添加超過 1.0%效果亦飽和，因而 Ti、

Nb、V、Zr 合計含量為 0.01%以上且 1.0%以下。更佳的範圍為 0.1%以上且 0.5%以下。在不用於強度提高的情況下，為了改善粒成長性較佳為降低至 0.005%以下。

【0034】 所述元素以外的剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質。

【0035】 本實施形態的無方向性電磁鋼板中，重要的是截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 為  $0.2 \mu\text{m}$  以下。如此，藉由減少比磁壁的移動距離小的波長的微小的凹凸，而可降低磁滯損耗。更佳的範圍為  $0.1 \mu\text{m}$  以下。

【0036】 本發明中，表面粗糙度的測定依據日本工業標準 (Japanese Industrial Standards, JIS) B 0601、JIS B 0632、JIS B 0633、JIS B 0651 中記載的內容來進行。在基底鐵表面進行測定，因而在塗佈了塗層 (coating) 情況下，利用沸騰鹼 (boiling alkali) 等加以去除。關於用於表面粗糙度的測定的測定機，選擇可正確地檢測出波長數微米 ( $\mu\text{m}$ ) 以下的微粗糙度者。普通的觸針式表面粗糙度計的觸針前端的半徑為數  $\mu\text{m}$ ，因而不適合於檢測微粗糙度。因此，本發明中，使用三維掃描電子顯微鏡來測定算術平均粗糙度 Ra。為了檢測微粗糙度，基準長度及截止波長 (截止值)  $\lambda_c$  設為  $20 \mu\text{m}$ 。截止比  $\lambda_c/\lambda_s$  未作特別指定，理想的是設為 100 以上，本發明中設為 100 進行測定。測定方向設為壓延方向及壓延直角方向，分別進行三次測定，使用其平均值。

【0037】 與此相對，例如利用普通的觸針式表面粗糙度計獲得的宏觀粗糙度不會對磁特性造成影響，因而不作特別限定。自提高

佔空因數的觀點考慮，理想的是將截止波長  $\lambda_c=0.8$  mm、截止比  $\lambda_c/\lambda_s=300$  下獲得的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 設為  $0.5$   $\mu\text{m}$  以下。

【0038】 本實施形態中，板厚設為小於  $0.30$  mm。這是因為，在板厚小於  $0.30$  mm 的情況下，可獲得由截止波長  $\lambda_c=20$   $\mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 為  $0.2$   $\mu\text{m}$  以下帶來的鐵損的降低效果。板厚較佳為設為  $0.25$  mm 以下，更佳為設為  $0.15$  mm 以下。而且，若板厚小於  $0.05$  mm 則製造成本增高，因而較佳為設為  $0.05$  mm 以上。

【0039】 （無方向性電磁鋼板的製造方法）

接下來，對本發明的一實施形態的無方向性電磁鋼板的製造方法進行說明。可利用通常的造塊-分塊法或連續鑄造法，由調整為所述成分組成的鋼液製造鋼坯，亦可直接利用鑄造法製造出  $100$  mm 以下厚度的薄鑄片。

【0040】 接下來，利用通常的方法對鋼坯進行加熱，並提供至熱軋，從而形成熱軋鋼板。

【0041】 接下來，視需要對熱軋鋼板實施熱軋板退火。熱軋板退火的目的是為了防止起筋或提高磁通密度，在不必要的情況下亦可省略。在使用連續退火設備的情況下較佳設為  $900^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C} \times 1$  sec  $\sim 300$  sec，在使用分批退火設備的情況下，較佳設為  $700^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C} \times 10$  min  $\sim 600$  min 的條件。

【0042】 然後，在對熱軋鋼板實施酸洗後，實施一次冷軋或夾有

中間退火的兩次以上的冷軋，而精加工為最終板厚的冷軋鋼板。  
最終板厚小於 0.30 mm。

【0043】 將基底鐵表面的截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的算術平均粗糙度 Ra 設為  $0.2 \mu\text{m}$  以下的較佳的方法是對最後冷軋的最終道次的壓延軋的表面粗糙度進行調整。本實施形態中，將最後冷軋的最終道次的壓延軋表面的算術平均粗糙度 Ra 在截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下設為  $0.2 \mu\text{m}$  以下。為了將軋表面效率優良地轉印至鋼，較佳為至少最終道次為乾式壓延。藉此，可使冷軋鋼板的表面平滑化。另外，在冷軋中未將基底鐵表面平滑化的情況下，亦可在冷軋後或完工退火後追加化學研磨或電解研磨等步驟，將基底鐵表面的截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的算術平均粗糙度 Ra 設為  $0.2 \mu\text{m}$  以下。然而，自製造成本的觀點而言，較佳為在冷軋時將基底鐵表面平滑化。

【0044】 在最終冷軋後，對冷軋鋼板實施完工退火。完工退火中若鋼板表面氧化・氮化則磁特性會大幅劣化。因此，為了防止氧化，較佳為將退火氣體環境設為還原性。例如，較佳為使用含有 5% 以上的  $\text{H}_2$  濃度的  $\text{N}_2\text{-H}_2$  混合氣體環境，降低露點而將  $\text{PH}_2\text{O}/\text{PH}_2$  控制為 0.05 以下。為了防止氮化，較佳為將爐內氣體環境的  $\text{N}_2$  分壓設為 95% 以下，更佳的範圍為 85% 以下。而且，添加合計為 0.01% 以上且 0.2% 以下的 Sn、Sb 的一種或兩種到鋼中，對於抑制氧化・氮化尤其有效。退火條件較佳為  $700^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C} \times 1 \text{ sec} \sim 300 \text{ sec}$ 。在重視鐵損的情況下，提高退火溫度即可，在重視強度的情

況下降低退火溫度即可。

【0045】 完工退火後，視需要對鋼板表面實施絕緣塗層，而形成製品板（無方向性電磁鋼板）。絕緣塗層可使用公知者，亦可視目的而分開使用無機塗層、有機塗層、無機-有機混合塗層等。

【0046】 其他製造條件依據無方向性電磁鋼板的普通製造方法即可。

#### 實施例

##### 【0047】（實施例 1）

使含有 C：0.0022%、Si：3.25%、Al：0.60%、Mn：0.27%、P：0.02%、S：0.0018%、N：0.0021%、O：0.0024%、Sn：0.06% 且剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質的鋼坯熔化，以 1130°C 加熱 30 分鐘後，進行熱軋，而獲得熱軋鋼板。對該熱軋鋼板進行 1000°C×30 sec 的熱軋板退火，進而進行冷軋，而精加工為板厚 0.15 mm~0.30 mm 的冷軋鋼板。對所獲得的冷軋鋼板在 H<sub>2</sub>：N<sub>2</sub>=30：70、露點為-50°C 的氣體環境中進行 1000°C×10 sec 的完工退火，塗佈絕緣塗層而形成製品板。

【0048】 此處，藉由對冷軋的最終道次的壓延軋的表面粗糙度進行調整而變更製品板的基底鐵表面的微粗糙度。自所獲得的製品板採取 280 mm×30 mm 的試驗片，利用愛波斯坦（Epstein）試驗進行直流磁性測定，並測定出 B<sub>m</sub>=1.0 T、f=50 Hz 的磁滯損耗 Wh<sub>10/50</sub>。而且，在利用沸騰鹼去除了製品板的絕緣塗層後，使用艾利歐尼克斯（ELIONIX）製造的 3D-SEM（ERA-8800FE），以加

速電壓 5 kV 進行  $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$  的表面形狀測定，在既述條件下，測定出截止波長  $\lambda_c=20\ \mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra。將結果表示於圖 1。在滿足本發明的範圍內，獲得磁滯損耗低的結果。另外，在將冷軋的最終道次的壓延輥表面的截止波長  $\lambda_c=20\ \mu\text{m}$  下的 Ra 設為  $0.2\ \mu\text{m}$  以下的情況下，基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 為  $0.2\ \mu\text{m}$  以下。

**【0049】**（實施例 2）

使含有表 1 所示的成分、且剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質的鋼坯熔化，以  $1100^\circ\text{C}$  加熱 30 分鐘後，進行熱軋，而獲得熱軋鋼板。對該熱軋鋼板進行  $980^\circ\text{C}\times 30\ \text{sec}$  的熱軋板退火，進而進行冷軋，而精加工為板厚 0.15 mm 的冷軋鋼板。對所獲得的冷軋鋼板在  $\text{H}_2:\text{N}_2=20:80$ 、露點為  $-40^\circ\text{C}$  的氣體環境中進行  $980^\circ\text{C}\times 10\ \text{sec}$  的完工退火，塗佈絕緣塗層而形成製品板。

**【0050】** 此處，藉由對冷軋的最終道次的壓延輥的表面粗糙度進行調整，並進行乾式壓延，而變更製品板的基底鐵表面的微粗糙度。對 No.2，將壓延溫度設為  $300^\circ\text{C}$ ，進而使微粗糙度發生變化。自所獲得的製品板採取  $280\ \text{mm}\times 30\ \text{mm}$  的試驗片，利用愛波斯坦試驗進行直流磁性測定，並測定出  $B_m=1.0\ \text{T}$ 、 $f=400\ \text{Hz}$  的磁滯損耗  $W_{h10/400}$ 。而且，在利用沸騰鹼去除了製品板的絕緣塗層後，使用 ELIONIX 製造的 3D-SEM (ERA-8800FE)，以加速電壓 5 kV 進行  $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$  的表面形狀測定，在既述條件下，測定出截止波長  $\lambda_c=20\ \mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra。而且，冷



軋的最終道次的壓延軋的表面的算出平均粗糙度 Ra 亦以相同的方法進行測定。進而，使用觸針的前端半徑：2  $\mu\text{m}$  的觸針式粗度計（東京精密（股）製造），以掃描速度：0.5 mm/s、截止波長：0.8 mm 測定基底鐵表面的算出平均粗糙度 Ra。

【0051】 將結果表示於表 1。在滿足本發明的範圍內，獲得磁滯損耗低的結果。即便在尤其藉由設為截止波長  $\lambda_c=0.8$  mm 的現有的普通測定方法測定出的基底鐵表面的 Ra 為 0.2  $\mu\text{m}$  以下的情況下，當本發明規定的截止波長  $\lambda_c=20$   $\mu\text{m}$  下的 Ra 超過 0.2  $\mu\text{m}$  時，亦為磁滯損耗高的結果。

【0052】 [表 1]

No.	成分組成 (質量%)										壓延軋表 面的 Ra ( $\mu\text{m}$ )	基底鐵表面的 Ra ( $\mu\text{m}$ ) $\lambda_c=20\ \mu\text{m}$	基底鐵表面的 Ra ( $\mu\text{m}$ ) $\lambda_c=0.8\ \text{mm}$	Wh <sub>10400</sub> (W/kg)	備註
	C	Si	Al	Mn	P	S	N	O	其他						
1	0.0017	3.19	0.31	0.54	0.02	0.0023	0.0021	0.0034			0.34	0.36	0.41	6.682	比較例
2	0.0018	3.32	0.14	0.36	0.01	0.0025	0.0019	0.0023			0.13	0.25	0.16	6.562	比較例
3	0.0025	3.24	0.36	0.32	0.01	0.0026	0.0023	0.0031			0.07	0.08	0.12	5.216	發明例
4	0.0034	3.45	0.51	0.62	0.02	0.0033	0.0018	0.0016		Sn : 0.08	0.04	0.06	0.15	5.068	發明例
5	0.0019	3.32	0.42	0.23	0.01	0.0019	0.0022	0.0024		Sb : 0.06	0.05	0.06	0.13	5.126	發明例
6	0.0014	3.18	0.28	0.56	0.06	0.0018	0.0017	0.0019		Ca : 0.0042	0.07	0.09	0.18	5.168	發明例
7	0.0023	3.42	0.33	0.42	0.02	0.0024	0.0021	0.0022		Mg : 0.0012	0.10	0.09	0.11	5.098	發明例
8	0.0021	3.37	0.44	0.38	0.03	0.0022	0.0016	0.0019		REM : 0.0038	0.06	0.06	0.13	5.142	發明例
9	0.0021	3.67	0.25	0.31	0.04	0.0026	0.0014	0.0017		Sn : 0.06 Ca : 0.0031	0.08	0.09	0.04	5.042	發明例
10	0.0036	3.26	0.21	0.18	0.01	0.0015	0.0031	0.0012		Cr : 6	0.06	0.07	0.22	5.246	發明例
11	0.0042	3.43	0.68	0.65	0.01	0.0016	0.0018	0.0023		Ti : 0.31	0.07	0.09	0.15	5.426	發明例
12	0.0039	3.29	0.41	0.33	0.01	0.0023	0.0021	0.0026		Nb : 0.26	0.11	0.12	0.16	5.643	發明例
13	0.0019	3.59	0.26	0.35	0.02	0.0018	0.0012	0.0034		V : 0.12 Zr : 0.13	0.09	0.11	0.18	5.521	發明例

**【0053】**（實施例3）

使含有表2所示的成分、且剩餘部分包含Fe及不可避免的雜質的鋼坯熔化，以1100°C加熱30分鐘後，進行熱軋，而獲得熱軋鋼板。對該熱軋鋼板進行1000°C×120 sec的熱軋板退火，對No.1進行冷軋直至為0.15 mm，對No.2~No.12進行冷軋直至為0.17 mm為止，然後在HF+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>水溶液中進行化學研磨直至為0.15 mm為止，分別精加工為板厚0.15 mm的冷軋鋼板。對所獲得的冷軋鋼板在H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=30:70、露點為-50°C的氣體環境中進行1000°C×30 sec的完工退火，塗佈絕緣塗層而形成製品板。

**【0054】**自所獲得的製品板採取280 mm×30 mm的試驗片，利用愛波斯坦試驗進行直流磁性測定，並測定出B<sub>m</sub>=1.0 T、f=400 Hz的磁滯損耗Wh<sub>10/400</sub>。而且，在利用沸騰鹼去除了製品板的絕緣塗層後，使用ELIONIX製造的3D-SEM（ERA-8800FE），以加速電壓5 kV進行100 μm×100 μm的表面形狀測定，在既述條件下，測定出截止波長λ<sub>c</sub>=20 μm下的基底鐵表面的算術平均粗糙度Ra。進而，使用觸針的前端半徑：2 μm的觸針式粗度計（東京精密（股）製造），以掃描速度：0.5 mm/s、截止波長：0.8 mm測定基底鐵表面的算出平均粗糙度Ra。

**【0055】**將結果表示於表2。在進行化學研磨處理的情況下，藉由截止波長λ<sub>c</sub>=0.8 mm的現有的普通測定方法測定出的基底鐵表面的Ra為0.2 μm以上，但在本發明規定的截止波長λ<sub>c</sub>=20 μm下的Ra為0.2 μm以下的情況下，為磁滯損耗低的結果。

【0056】 [表 2]

表 2

No.	成分組成 (質量%)										化學研磨	基底鐵表面的 Ra ( $\mu\text{m}$ ) $\lambda_c=20\ \mu\text{m}$	基底鐵表面的 Ra ( $\mu\text{m}$ ) $\lambda_c=0.8\ \text{mm}$	Wh <sub>10/400</sub> (W/kg)	備註
	C	Si	Al	Mn	P	S	N	O	其他						
1	0.0015	3.26	0.89	0.32	0.01	0.0012	0.0013	0.0021			無	0.31	0.36	6.428	比較例
2	0.0013	3.18	1.03	0.26	0.02	0.0015	0.0017	0.0015			有	0.06	0.31	5.126	發明例
3	0.0023	3.06	0.93	0.25	0.01	0.0018	0.0012	0.0017		Sn : 0.03	有	0.02	0.28	5.043	發明例
4	0.0014	2.86	1.32	0.65	0.01	0.0005	0.0009	0.0012		Sb : 0.09	有	0.04	0.34	5.026	發明例
5	0.0018	3.26	0.75	1.32	0.02	0.0019	0.0011	0.0016		Ca : 0.0021	有	0.06	0.26	5.044	發明例
6	0.0016	3.16	0.87	0.26	0.01	0.0009	0.0015	0.0034		Mg : 0.0008	有	0.05	0.29	5.123	發明例
7	0.0013	3.06	0.95	0.76	0.01	0.0015	0.0023	0.0029		REM : 0.0026	有	0.09	0.33	5.064	發明例
8	0.0014	2.95	0.88	0.46	0.03	0.0016	0.0013	0.0019		Sn : 0.05 Ca : 0.0036	有	0.07	0.27	5.033	發明例
9	0.0019	2.63	1.12	0.26	0.01	0.0014	0.0019	0.0016		Cr : 5.2	有	0.03	0.26	5.213	發明例
10	0.0026	3.12	0.65	0.89	0.01	0.0019	0.0012	0.0017		Ti : 0.57	有	0.08	0.29	5.326	發明例
11	0.0022	3.42	0.87	0.42	0.01	0.0011	0.0024	0.0025		Nb : 0.46	有	0.11	0.32	5.541	發明例
12	0.0014	3.22	0.84	0.72	0.01	0.0015	0.0014	0.0029		V : 0.09 Zr : 0.05	有	0.12	0.35	5.426	發明例

[產業上之可利用性]

【0057】 根據本發明的無方向性電磁鋼板，藉由降低了基底鐵表面的微粗糙度，不會對鋼成分施加大的限制便可降低鐵損。該效果由與固有電阻的增加及薄板化不同的原理而獲得，因而藉由與該些方法併用，能夠進一步降低鐵損。

【符號說明】

無

## 【發明申請專利範圍】

【第 1 項】一種無方向性電磁鋼板，其特徵在於，具有以質量%計含有：

C：0.05%以下，

Si：0.1%以上且 7.0%以下，

Al：0.1%以上且 3.0%以下，

Mn：0.03%以上且 3.0%以下，

P：0.2%以下，

S：0.005%以下，

N：0.005%以下，及

O：0.01%以下，

剩餘部分包含鐵（Fe）及不可避免的雜質的成分組成，

板厚小於 0.30 mm，

截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的基底鐵表面的算術平均粗糙度 Ra 為 0.2  $\mu\text{m}$  以下。

【第 2 項】如申請專利範圍第 1 項所述的無方向性電磁鋼板，其中

所述成分組成以質量%計含有合計為 0.01%以上且 0.2%以下的 Sn 及 Sb 的一種或兩種。

【第 3 項】如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的無方向性電磁鋼板，其中

所述成分組成以質量%計含有合計為 0.0005%以上且 0.010%

以下的 Ca、Mg 及 REM 中的一種或兩種以上。

【第 4 項】如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其中

所述成分組成以質量%計含有 Cr：0.1%以上且 20%以下。

【第 5 項】如申請專利範圍第 1 項至第 4 項中任一項所述的無方向性電磁鋼板，其中

所述成分組成以質量%計含有合計為 0.01%以上且 1.0%以下的 Ti、Nb、V 及 Zr 中的一種或兩種以上。

【第 6 項】一種無方向性電磁鋼板的製造方法，其特徵在於：

對具有如申請專利範圍第 1 項至第 5 項中任一項所述的成分組成的鋼坯進行加熱，

對所述鋼坯進行熱軋而形成熱軋鋼板，

對所述熱軋鋼板實施或不實施熱軋板退火，

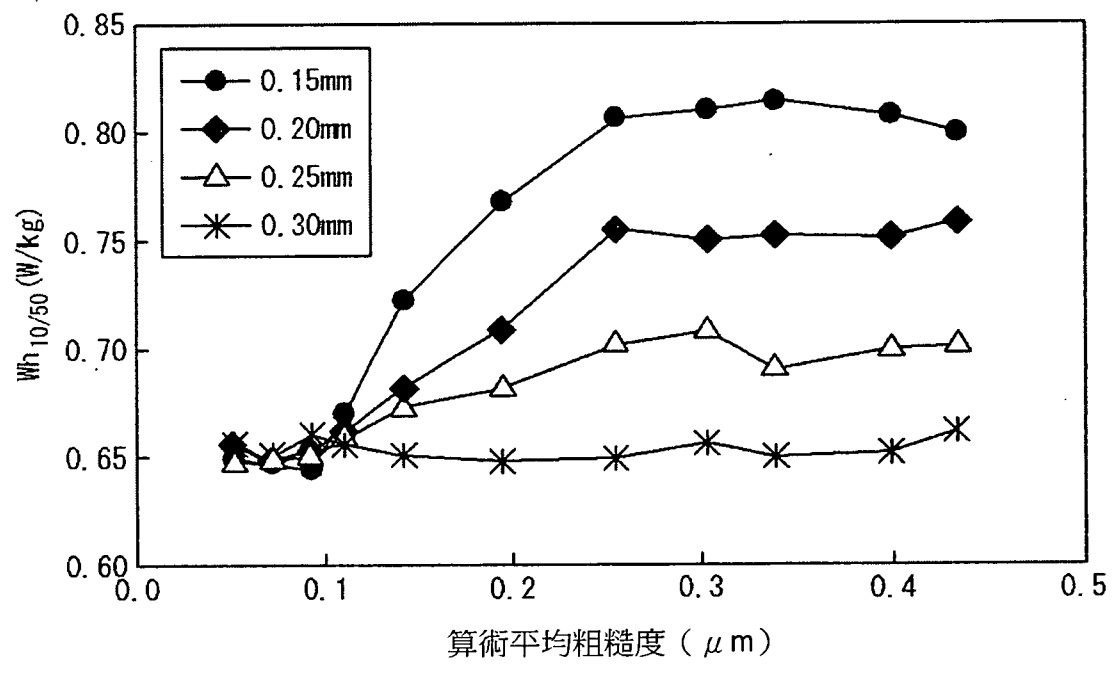
對所述熱軋鋼板，實施一次冷軋或夾有中間退火的兩次以上的冷軋，而形成板厚小於 0.30 mm 的冷軋鋼板，

對所述冷軋鋼板實施完工退火，

所述無方向性電磁鋼板的製造方法的特徵在於：

將最後冷軋的最終道次的壓延軋表面的截止波長  $\lambda_c=20 \mu\text{m}$  下的算術平均粗糙度 Ra 設為  $0.2 \mu\text{m}$  以下。

【發明圖式】



【圖1】