I777498

(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 I777498 B**

(45)公告日： 中華民國 111 (2022) 年 09 月 11 日

(21)申請案號：110113810 (22)申請日： 中華民國 110 (2021) 年 04 月 16 日

(51)Int. Cl.： ***C22C38/16 (2006.01)*** ***C21D8/02 (2006.01)***

(30)優先權：2020/04/16 日本 2020-073211

(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：屋鋪裕義 YASHIKI, HIROYOSHI (JP) ；名取義顯 NATORI, YOSHIAKI (JP) ；富田美穗 TOMITA, MIHO (JP) ；竹田和年 TAKEDA, KAZUTOSHI (JP) ；松本卓也 MATSUMOTO, TAKUYA (JP)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：

TW 201908498A CN 101310034A

審查人員：李南漳

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：0 共 26 頁

(54)名稱

無方向性電磁鋼板及其製造方法

(57)摘要

一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成以質量%計：C：0.0010~0.0040%、Si：3.5~4.9%、Mn：0.05~0.20%、Al：0.05~0.45%、P：0.030%以下、S：0.0030%以下、N：0.0030%以下、O：0.0100~0.0400%、Ca：小於 0.0010%、Ti：小於 0.0050%、Nb：小於 0.0050%、Zr：小於 0.0050%、V：小於 0.0050%、Cu：小於 0.20%、Ni：小於 0.50%、Sn：0~0.05%、Sb：0~0.05%、剩餘部分：Fe 及不純物，且滿足[4.0≦Si+Al≦5.0]；母材表面起算朝深度方向至 10μm 之位置為止以外的區域中，O 含量小於 0.0050%。

公告本

I777498

【發明摘要】

【中文發明名稱】

無方向性電磁鋼板及其製造方法

【英文發明名稱】

NON-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET AND METHOD FOR PRODUCING SAME

【中文】

一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成以質量%計：C：0.0010~0.0040%、Si：3.5~4.9%、Mn：0.05~0.20%、Al：0.05~0.45%、P：0.030%以下、S：0.0030%以下、N：0.0030%以下、O：0.0100~0.0400%、Ca：小於0.0010%、Ti：小於0.0050%、Nb：小於0.0050%、Zr：小於0.0050%、V：小於0.0050%、Cu：小於0.20%、Ni：小於0.50%、Sn：0~0.05%、Sb：0~0.05%、剩餘部分：Fe及不純物，且滿足[4.0≦Si+Al≦5.0]；母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，O含量小於0.0050%。

【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

【英文發明名稱】

NON-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET AND METHOD FOR PRODUCING SAME

【技術領域】

【0001】 發明領域

本揭示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】 發明背景

近年來，地球環境問題備受矚目，對於節能對策之要求是更加增長。其中強烈期望電器高效率化。因此，就一直廣泛使用作為馬達或發電機等鐵芯材料的無方向性電磁鋼板而言，對於提升磁特性之期許亦更加強烈。在用於電動汽車及混合動力(hybrid)汽車的驅動馬達、及用於空調之壓縮機之馬達中，該傾向很顯著。

【0003】 上述各種馬達的馬達鐵芯是由靜定子即定子(stator)、及轉動子即轉子(rotor)所構成。對於構成馬達鐵芯的定子及轉子兩者所要求的特性彼此不同；就定子而言，要求優異磁特性(低鐵損及高磁通量密度)尤其是低鐵損，相對於此，就轉子而言則要求優異機械特性(高強度)。

【0004】 由於對於定子與轉子所要求的特性不同，透過區分成用於定子之無方向性電磁鋼板、與用於轉子之無方向性電磁鋼板，藉此能實現所欲特性。惟，準備2種無方向性電磁鋼板會導致產率下降。於是，一直以來都在探討一種強度優異且磁特性亦優異的無方向性電磁鋼板，以期能實現轉子所要求的高強度同時實現低鐵損。

【0005】 例如，在專利文獻1~3中，試圖實現優異磁特性與高強度。又，在專利文獻4中，試圖在高磁通量密度且寬頻率範圍下實現低鐵損。

【0006】 專利文獻1：日本特開2004-300535號公報

專利文獻2：日本特開2007-186791號公報

專利文獻3：日本特開2012-140676號公報

專利文獻4：日本特開平11-092891號公報

【發明內容】

【0007】 發明概要

發明所欲解決之課題

惟，近年來，為了實現電動汽車或混合動力汽車之馬達所要求的節能特性，在專利文獻1~3所揭露的這種技術中，作為定子素材的低鐵損化並不足。又，在專利文獻4所揭露的技術中，並未考量強度。

【0008】 本揭示是為了解決此種問題而完成者，目的在於以低成本方式穩定獲得一種具有高強度及優異磁特性的無方向性電磁鋼板。

【0009】 用以解決課題之手段

本揭示之要旨為下述無方向性電磁鋼板及其製造方法。

【0010】 (1)一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成以質量%計：

C：0.0010~0.0040%、

Si：3.5~4.9%、

Mn：0.05~0.20%、

Al：0.05~0.45%、

P：0.030%以下、

S：0.0030%以下、

N：0.0030%以下、

O：0.0100~0.0400%、

Ca：小於0.0010%、

Ti：小於0.0050%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.20%、

Ni：小於0.50%、

Sn：0~0.05%、

Sb：0~0.05%、及

剩餘部分：Fe及不純物，並且

滿足下述(i)式；

前述母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，O含量小於0.0050%；

$4.0 \leqq Si+Al \leqq 5.0$・・・(i)

其中，上述式(i)中的元素符號為前述母材中各元素含量(質量%)。

【0011】 (2)上述(1)所記載之無方向性電磁鋼板，其抗拉強度為600MPa以上。

【0012】 (3)上述(1)或(2)所記載之無方向性電磁鋼板，其於前述母材表面具有絕緣覆膜。

【0013】 (4)一種無方向性電磁鋼板的製造方法，是製造上述(1)至(3)中任1者所記載之無方向性電磁鋼板的方法，且對於下述鋼塊依序施予熱輥軋步驟、冷輥軋步驟、及精加工退火步驟；該精加工退火步驟之均熱溫度為750~1050℃、均熱時間為1~300s為且露點設為0~50℃；

該鋼塊具有下述化學組成：

以質量%計，

C：0.0020~0.0060%、

Si：3.5~4.9%、

Mn：0.05~0.20%、

Al：0.05~0.45%、

P：0.030%以下、

S：0.0030%以下、

N：0.0030%以下、

O：小於0.0050%、

Ca：小於0.0010%、

Ti：小於0.0050%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.20%、

Ni：小於0.50%、

Sn：0~0.05%、

Sb：0~0.05%、及

剩餘部分：Fe及不純物，並且

滿足下述(i)式：

$4.0 \leqq Si+Al \leqq 5.0$・・・(i)

其中，上述式(i)中的元素符號為前述鋼塊中各元素含量(質量%)。

【0014】(5)上述(4)所記載之無方向性電磁鋼板的製造方法，其於前述熱輥

軋步驟與前述冷輥軋步驟之間，進一步具備熱軋板退火步驟。

【0015】 發明效果

根據本揭示，便能以低成本方式穩定獲得一種具有高強度及優異磁特性的無方向性電磁鋼板。

【實施方式】

【0016】 本發明的實施形態

用以實施發明之形態

本揭示者為了解決上述課題而精心探討，結果獲得以下見解。

【0017】 若想達成鋼的高強度化，經常會施行的方法是使其大量含有Cu、Ni、Ti、V等合金元素。惟，大量含有Cu、Ni、Ti、V等合金元素時，不僅會增加成本，還會導致磁特性下降。

【0018】 為了以盡量不含高價位合金元素方式便達成高強度化，有效的是活用Si及Al。又，為了提升無方向性電磁鋼板的磁特性，必須改善高頻鐵損；然而就鐵損而言，其主要是由磁滯損失(hysteresis loss)與渦流損失(eddy current loss)所構成。Si及Al亦具有提高鋼的電阻而減低渦流損失之效果。

【0019】 另一方面，Si含量增加，由於會使韌性劣化而導致冷輥軋時之脆化裂紋，因而有著使製造變得困難之問題。就其對策而言，一般認為，透過使C於結晶晶界偏析來強化晶界，藉此抑制冷輥軋時之脆化裂紋。然而，C在使用環境中會以碳化物形式析出，因而阻礙磁區壁(magnetic domain wall)移動，並成為使磁滯損失增加之主因。

【0020】 據此，於冷輥軋時雖含有某程度的C，但期望之後進行脫碳以減低最終製品中的C含量。藉此便能兼具提升冷加工性與降低鐵損。

【0021】 另外，Mn對於高強度化之助益與提升電阻效果相對較低，關於Mn而言，其含量要減低。

【0022】 本揭示是基於上述見解而完成者。以下，詳細說明本揭示之各個要件。

另外，本揭示中以「~」所表示之數值範圍意指：「~」前後記載之數值作為下限值及上限值所涵蓋的範圍。

「~」前後所記載之數值若標上「大於」或「小於」，此時之數值範圍意指：不含此等數值作為下限值或上限值的範圍。

所謂「步驟」之用語，不僅是獨立步驟，即使是無法與其他步驟明確區別，只要能達成該步驟所欲目的，皆涵蓋於本用語中。

於本揭示階段性記載之數值範圍中，一組數值範圍所記載之上限值可替換成另一階段記載之數值範圍的上限值，或者，一組數值範圍所記載之下限值亦可替換成另一階段記載之數值範圍的下限值。

又，在本揭示所記載之數值範圍中，該數值範圍之上限值或下限值亦可替換成實施例所示之值。

在本揭示中，適宜態樣的組合即為更佳態樣。

【0023】 1.全體構成

本揭示之無方向性電磁鋼板具有高強度且具有優異磁特性，因而對於定子及轉子雙方都很適合。又，本揭示之無方向性電磁鋼板宜在以下說明之母材的表面具有絕緣覆膜。

【0024】 2.母材之化學組成

各元素之限定理由如下所述。另外，在以下說明中，關於含量的「%」意指「質量%」。

【0025】 C：0.0010~0.0040%

C(碳)是一種會引起鐵損劣化的元素。C含量大於0.0040%時，在無方向性電磁鋼板中會產生鐵損劣化而無法獲得良好的磁特性。另一方面，C是一種對鋼板

高強度化很有效的元素。據此，C含量設為0.0010~0.0040%。C含量宜為0.0012%以上，較宜為0.0015%以上。C含量宜為0.0035%以下，較宜為0.0030%以下。

【0026】 Si：3.5~4.9%

Si(矽)是一種會提高鋼的電阻、減低渦流損失並改善高頻鐵損的元素。又，Si由於固溶強化能力高，因而也是一種對鋼板的高強度化很有效的元素。另一方面，若Si含量過多，則加工性會顯著劣化，且會變得難以實施冷輥軋。據此，Si含量設為3.5~4.9%。Si含量宜為3.6%以上，較宜為3.7%以上。又，Si含量宜為4.8%以下，較宜為4.7%以下。

【0027】 Mn：0.05~0.20%

Mn(錳)具有提高鋼的電阻、減低渦流損失並改善高頻鐵損之效果，但相較於Si及Al，其效果較少。另一方面，隨著Mn含量增加，會導致磁通量密度下降。然而，Mn具有下述效果：抑制鋼中不可避免含有的S所致之熱輥軋時脆化。因此，Mn含量設為0.05~0.20%。Mn含量宜為0.06~0.19%以下，較宜為0.07~0.18%以下。

【0028】 Al：0.05~0.45%

Al(鋁)是一種具有提高鋼的電阻來降低渦流損失減低並改善高頻鐵損之效果的元素。又，雖不及Si，但其也是一種透過固溶強化而有助於高強度化的元素。另一方面，在Si含量為3.5%以上的這種高Si鋼之情況下，Al含量過多時，韌性劣化會變得顯著且會導致冷輥軋時之脆化裂紋。據此，Al含量設為0.05~0.45%。Al含量宜為0.10%以上，較宜為0.15%以上。又，Al含量宜為0.40%以下，較宜為0.38%以下，更宜為0.35%以下。

【0029】 在本揭示中，透過適切控制Si及Al之含量來確保鋼的電阻。又，從確保強度與韌性之觀點來看，也必須加以適切控制。因此，Si及Al之含量分別在上述範圍內之外，還必須滿足下述(i)式。Si+sol.Al之值宜為4.2以上且宜為4.8以下。

$4.0 \leqq Si+Al \leqq 5.0$・・・(i)

其中，上述式(i)中的元素符號為各元素的含量(質量%)。

【0030】 P：0.030%以下

P(磷)是作為不純物而被含於鋼中，其含量過多時，鋼板的韌性會顯著下降。據此，P含量設為0.030%以下。P含量宜為0.025%以下，較宜為0.020%以下。另外，極度減低P含量恐會導致製造成本增加，故P含量亦可為0.0005%以上，亦可為0.0008%以上，亦可為0.001%以上。

【0031】 S：0.0030%以下

S(硫)由於會形成MnS之微細析出物而使鐵損增加，是一種會使鋼板的磁特性劣化之元素。據此，S含量設為0.0030%以下。S含量宜為0.0020%以下，較宜為0.0015%以下。另外，極度減低S含量恐會導致製造成本增加，故S含量亦可為0.0001%以上，亦可為0.0003%以上，亦可為0.0005%以上。

【0032】 N：0.0030%以下

N(氮)是不可避免混入之元素，其會形成氮化物而使鐵損增加，是一種會使鋼板的磁特性劣化之元素。據此，N含量設為0.0030%以下。N含量宜為0.0025%以下，較宜為0.0020%以下。另外，極度減低N含量恐會導致製造成本增加，故N含量亦可為0.0005%以上。

【0033】 O：0.0100~0.0400%

O(氧)是不可避免混入之元素，其會形成氧化物而使鐵損增加，是一種會使鋼板的磁特性劣化之元素。因此，O含量越低越好。惟，O在脫碳時會在表層形成氧化層，故難以減低其含量。但是，母材表層過度氧化也會導致磁通量密度劣化。因此，母材總厚度中O的平均含量設為0.0100~0.0400%。O含量宜為0.0350%以下，較宜為0.0300%以下。

【0034】 又，如上所述，雖無法避免在母材表層形成氧化層，但表層以外

之區域中的O含量則期望極力減低。具體而言，母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，必須將O含量設為小於0.0050%。母材表面起算10μm以上之母材中心部的氧，被認為是在製鋼步驟之凝固時形成之氧化物所含的氧。亦即，在精加工退火步驟中控制露點而使表層部氧化時，內部氧化為數μm左右，母材表面起算10μm以上之深度中則相當於製鋼時的O含量。該氧量若達0.0050%以上，則母材的氧化物就會大量形成，而磁滯損失會增加。據此，母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，O含量設為小於0.0050%。母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，O含量宜為0.0045%以下，較宜為0.0040%以下。

母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中的O含量，可透過以下來測定：使用氫氟酸與過氧化氫水的混合水溶液，以化學研磨除去母材的正反面起算至10μm之位置為止，之後再透過非活性氣體融解-非分散型紅外線吸收法來測定。

【0035】 Ca：小於0.0010%

Ca(鈣)是在製鋼階段添加作為脫硫劑。然後，殘留於母材中的Ca會與S結合形成Ca系硫化物。此硫化物會粗大析出而有可能使製品疲勞強度劣化，且大量添加Ca不僅非必要還會提高成本。據此，Ca含量設為小於0.0010%。Ca含量宜為0.0008%以下，較宜為0.0005%以下。另外，極度減低Ca含量恐會導致製造成本增加，故Ca含量亦可為0.0001%以上。

【0036】 Ti：小於0.0050%

Ti(鈦)是不可避免混入之元素，其能與碳或與氮結合形成析出物(碳化物或氮化物)。若形成了碳化物或氮化物，此等析出物本身會使磁特性劣化。進一步還會阻礙精加工退火中的結晶粒成長，使磁特性劣化。據此，Ti含量設為小於0.0050%。Ti含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。

另外，極度減低Ti含量恐會導致製造成本增加，故Ti含量亦可0.0005%以上。

【0037】 Nb：小於0.0050%

Nb(鈮)雖是一種會與碳或與氮結合形成析出物(碳化物)而有助於高強度化的元素，不過此等析出物本身會使磁特性劣化。據此，Nb含量設為小於0.0050%。Nb含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。Nb含量能低就低，宜為測定臨界以下。

【0038】 Zr：小於0.0050%

Zr(鋯)雖是一種會與碳或與氮結合形成析出物(碳化物、氮化物)而有助於高強度化的元素，不過此等析出物本身會使磁特性劣化。據此，Zr含量設為小於0.0050%。Zr含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。Zr含量能低就低，宜為測定臨界以下。

【0039】 V：小於0.0050%

V(釩)雖是一種會與碳或與氮結合形成析出物(碳化物、氮化物)而有助於高強度化的元素，不過此等析出物本身會使磁特性劣化。據此，V含量設為小於0.0050%。V含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。V含量能低就低，宜為測定臨界以下。

【0040】 Cu：小於0.20%

Cu(銅)是不可避免混入之元素。刻意添加Cu會使鋼板製造成本增加。據此，在本揭示中不須積極添加，可為不純物之程度。Cu含量設為：製造步驟中不可避免時能混入之最大值即小於0.20%。Cu含量宜為0.15%以下，較宜為0.10%以下。另外，Cu含量下限值雖未特別限定，但極度減低Cu含量恐導致製造成本增加。因此，Cu含量亦可為0.001%以上，亦可為0.003%以上，亦可為0.005%以上。

【0041】 Ni：小於0.50%

Ni(鎳)是不可避免混入之元素。不過，Ni由於也是一種會提升鋼板強度之元

素，亦可刻意添加。但是，Ni由於價位高，故刻意添加時，其含量設為小於0.50%。Ni含量宜為0.40%以下，較宜為0.30%以下。另外，Ni的含量下限值雖未特別限定，但極度減低Ni含量恐導致製造成本增加。因此，Ni含量亦可為0.001%以上，亦可為0.003%以上，亦可為0.005%以上。

【0042】 Sn：0~0.05%

Sb：0~0.05%

Sn(錫)及Sb(銻)會在表面偏析並抑制退火中的氧化及氮化，因而是一種對於確保低鐵損很有用的元素。其等還會在結晶晶界偏析而改善集合組織，亦具有提高磁通量密度之效果。因此，亦可視需要而含有Sn及Sb之至少一者。惟，此等元素含量過多時，鋼的韌性會下降而有可能變得難以冷輥軋。據此，Sn及Sb的含量分別設為0.05%以下。Sn及Sb的含量分別宜為0.03%以下。另外，若想獲得上述效果，Sn及Sb之至少一者的含量宜設為0.005%以上，較宜設為0.01%以上。

【0043】 本揭示無方向性電磁鋼板的母材之化學組成中，剩餘部分為Fe及不純物。在此所謂「不純物」意指：於工業上製鋼時，因為礦石、廢料等原料或製造步驟之各種因素而混入之成分，且在不對本揭示之效果帶來不良影響的範圍下所允許的成分。

【0044】 另外，就不純物元素而言，關於Cr及Mo的含量則未特別規定。在本揭示之無方向性電磁鋼板中，即使含有0.5%以下的此等元素，對本揭示之效果也無特別影響。又，即使含有0.002%以下範圍的Mg，對本揭示之效果也無特別影響；即使含有0.004%以下範圍的稀土族元素(REM)，對本揭示之效果也無特別影響。REM是Sc、Y及鑭系元素合計17元素之總稱；REM的含量則是指REM之中1種以上元素的合計含量。

【0045】 又，除了上述元素之外，亦可含有Pb、Bi、As、B、Se等元素；只要其各自含量為0.0050%以下之範圍，就不會損及本揭示之效果。

【0046】 3.磁特性

在本揭示之無方向性電磁鋼板中所謂磁特性優異，其乃意指：鐵損$W_{10/400}$低且磁通量密度B_{50}高。在本案中，上述磁特性是透過JIS C 2550-1(2011)規定之愛普斯坦法(Epstein's method)來測定。另外，在試驗片較小之情況等難以透過愛普斯坦法進行測定時，亦可依據JIS C 2556(2015)規定之單板磁特性測定法(Single Sheet Tester：SST)，修正成等同於愛普斯坦法之測定值來測定。在本揭示中所謂鐵損$W_{10/400}$低，就板厚0.26mm以上而言是指30.0W/kg以下，就板厚0.21~0.25mm而言是指22.0W/kg以下，就板厚0.20mm以下而言是指18.0W/kg以下。所謂磁通量密度B_{50}高，則無關乎板厚，是指1.60T以上。

【0047】 4.機械的特性

本揭示之無方向性電磁鋼板中所謂具有高強度，其乃意指：抗拉強度宜為600MPa以上。抗拉強度較宜為610MPa以上，更宜為630MPa以上。在本案中，抗拉強度是施行根據JIS Z 2241(2011)的抗拉試驗來測定。

【0048】 5.絕緣覆膜

如上所述，本揭示之無方向性電磁鋼板中宜在母材表面形成有絕緣覆膜。無方向性電磁鋼板由於是在將鐵芯胚料穿孔後積層使用，因此透過在母材表面設置絕緣覆膜，就能減低板間的渦電流，並能減低作為鐵芯時的渦流損失。

【0049】 對於絕緣覆膜種類並未特別限定，可使用習知作為無方向性電磁鋼板之絕緣覆膜所採用的絕緣覆膜。就此種絕緣覆膜而言，可舉例如複合絕緣覆膜，其是以無機物為主體進一步含有有機物。在此所謂複合絕緣覆膜，為例如下述絕緣覆膜：以鉻酸金屬鹽、磷酸金屬鹽或者以膠體二氧化矽、Zr化合物、Ti化合物等無機物之至少任一者為主體，並分散有微細有機樹脂之粒子。尤其近年就減少製造時環境負荷的需求逐漸高漲，從此觀點來看，宜使用下述絕緣覆膜：該絕緣覆膜係採用磷酸金屬鹽、Zr或Ti之偶合劑作為起始物質、或者採用此等之碳

酸鹽或銨鹽作為起始物質。

【0050】 在本案中，絕緣覆膜之附著量並未特別限定，不過宜設為例如每單面200~1500mg/m^{2}左右，更宜設為每單面300~1200mg/m^2。以達到上述範圍之附著量的方式來形成絕緣覆膜，藉此就能保持優異的均一性。另外，在事後測定絕緣覆膜之附著量的情況下，可利用已知的各種測定法，可適宜利用例如：測定浸漬氫氧化鈉水溶液前後之質量差的方法、或者使用校準曲線(calibration curve)法的螢光X射線法等。

【0051】 6.製造方法

針對本揭示之無方向性電磁鋼板的製造方法進行說明。本揭示之無方向性電磁鋼板可透過對於下述鋼塊依序施予熱輥軋步驟、冷輥軋步驟、及精加工退火步驟來製造；該精加工退火步驟之均熱溫度為750~1050℃、均熱時間為1~300s且露點設為0~50℃；該鋼塊具有下述化學組成：以質量%計，C：0.0020~0.0060%、Si：3.5~4.9%、Mn：0.05~0.20%、Al：0.05~0.45%、P：0.030%以下、S：0.0030%以下、N：0.0030%以下、O：小於0.0050%、Ca：小於0.0010%、Ti：小於0.0050%、Nb：小於0.0050%、Zr：小於0.0050%、V：小於0.0050%、Cu：小於0.20%、Ni：小於0.50%、Sn：0~0.05%、Sb：0~0.05%、及剩餘部分：Fe及不純物，並且滿足上述(i)式。於熱輥軋步驟與冷輥軋步驟之間亦可進一步具備熱軋板退火步驟。又，若要於母材表面形成絕緣覆膜時，可在上述精加工退火後進行形成絕緣覆膜。以下，針對各步驟進行詳細說明。

【0052】 <鋼塊之化學組成>

就鋼塊之化學組成而言，除了C及O之外是與鋼板之化學組成相同，故省略說明。以下，針對C及O之限定理由進行說明。

【0053】 C：0.0020~0.0060%

C會在晶界偏析而具有抑制冷輥軋時之脆化裂紋的效果。為了獲得此效果，

鋼塊中的C含量宜為0.0020%以上。惟，如上所述，最終製品中若含有過多的C，便無法獲得良好的磁特性。就本揭示而言，雖在精加工退火步驟中進行脫碳來減低最終製品中的C含量，但鋼塊中的C含量若大於0.0060%，就會變得難以將最終製品中的C含量控制在0.0040%以下。因此，鋼塊中的C含量宜設為0.0020~0.0060%，較宜設為0.0025~0.0055%，更宜設為0.0030~0.0050%。

【0054】 O：小於0.0050%

O是不可避免混入之元素，其會形成氧化物而使鐵損增加，是一種會使鋼板的磁特性劣化之元素。如上所述，在最終製品中，母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，O含量要設為小於0.0050%；為此，鋼塊中的O含量宜設為小於0.0050%。

【0055】 <熱輥軋步驟>

將具有上述化學組成之鋼塊(鋼胚)進行加熱，再對加熱後的鋼塊施行熱輥軋而獲得熱軋板。在本案中，供應至熱輥軋時之鋼塊加熱溫度雖未特別規定，不過宜設為例如1050~1250℃。又，熱輥軋後之熱軋板的板厚亦未特別規定，不過考量母材的最終板厚而宜設為例如1.5~3.0mm左右。

【0056】 <熱軋板退火步驟>

之後，以提高鋼板磁通量密度為目的，視需要而實施熱軋板退火。關於熱軋板退火中的熱處理條件並未特別規定，不過例如宜以950℃以下之溫度進行加熱。又，加熱時間宜設為1~300s。另外，雖然相較於實施了熱軋板退火步驟之情況而言磁特性會變差，但為了節省成本而亦可省略上述熱軋板退火步驟。

【0057】 <酸洗步驟>

於上述熱軋板退火後，實施酸洗而除去母材表面所生成之鏽皮層。在本案中，酸洗所採用之酸濃度、酸洗所採用之促進劑濃度、酸洗液之溫度等的酸洗條件並未特別限定，可設定成習知酸洗條件。

【0058】 <冷輥軋步驟>

於上述酸洗後，實施冷輥軋。在冷輥軋中，是以使母材最終板厚達0.10~0.35mm之軋縮率，來對除去鏽皮層後的酸洗板進行輥軋。

【0059】 <精加工退火步驟>

於上述冷輥軋後，實施精加工退火。在本揭示之無方向性電磁鋼板的製造方法中，於精加工退火使用連續退火爐。為了進行脫碳以控制母材中C含量與結晶粒徑，精加工退火步驟是重要步驟。

【0060】 在本案中，精加工退火條件宜為：均熱溫度設為750~1050℃，均熱時間設為1~300s，氣體環境設為H_2及N_2之混合氣體環境(亦即，H_2+N_2=100體積%)且H_2之比例為10~100體積%，氣體環境之露點設為0~50℃。

【0061】 均熱溫度小於750℃時，結晶粒徑會變小，而且未再結晶領域之比率會增高，鐵損會劣化，並不適宜；均熱溫度大於1050℃時，強度會變得不足且鐵損也會劣化，因而不適宜。均熱溫度較宜為770~1020℃，更宜為800~1000℃。氣體環境中H_2之比例較宜為15~90體積%。將氣體環境之露點設為0℃以上，藉此能充分進行脫碳而減低母材中C含量。又，氣體環境之露點設為50℃以下，藉此能抑制母材表面過多的氧化。氣體環境之露點較宜為10~40℃，更宜為15~35℃。

【0062】 <絕緣覆膜形成步驟>

於上述精加工退火後，視需要而實施絕緣覆膜形成步驟。在本案中，關於絕緣覆膜形成步驟並未特別限定，使用上述這種習知絕緣覆膜處理液並以習知方法進行處理液之塗布及乾燥即可。

【0063】 另外，要形成絕緣覆膜之母材表面，於塗布處理液前，亦可施予任意的前處理，所述前處理為以鹼等所進行之脫脂處理、或者以鹽酸、硫酸、磷酸等所進行之酸洗處理等；要形成絕緣覆膜之母材表面亦可為不實施此等前處理而維持精加工退火後狀態的表面。

【0064】 以下，以實施例更具體說明本揭示，但本揭示並不受限於此等實施例。

[實施例]

【0065】 將具有表1所示化學組成之鋼胚加熱至1150℃後，以精加工溫度850℃、精加工板厚2.0mm之條件施予熱輥軋，並於650℃進行捲取而作成熱軋鋼板。對於所獲得之熱軋鋼板，於表2所示試驗No.1~18、No.20~25中，是以連續退火爐施行900℃×40s之熱軋板退火，再以酸洗除去表面之鏽皮。又，對於所獲得之熱軋鋼板，於表2所示試驗No.19中，是以酸洗除去表面之鏽皮後，省略熱軋板退火。以此所獲得之鋼板透過冷輥軋而作成板厚0.25mm的冷軋鋼板。

【0066】 進一步，於H_2：20%、N_2：80%之混合氣體環境下，改變精加工退火條件(均熱溫度、均熱時間及露點)來進行退火，使其成為以下表2所示這般化學組成。又，控制C含量以使其變低時，是調高露點。控制C含量以使其不變化時，則是調低露點。之後，塗布絕緣覆膜並製造出無方向性電磁鋼板而作成試驗材。

【0067】 又，上述絕緣覆膜是以使達預定附著量方式進行塗布並在大氣中、350℃進行烘烤而形成者；所述絕緣覆膜是由磷酸鋁及粒徑0.2μm之丙烯醯基-苯乙烯共聚體樹脂乳化液(emulsion)所構成。

【0068】 [表1]

表1

鋼種	鋼塊的化學組成(質量%；剩餘部分：Fe及不純物)																	(i)式† 中間值
	C	Si	Mn	Al	P	S	N	O	Ca	Ti	Nb	Zr	V	Cu	Ni	Sn	Sb	
A	0.0035	3.4	0.16	0.50	0.014	0.0009	0.0015	0.0029	0.0005	0.0014	0.0008	0.0006	0.0009	0.060	0.032	0.030	0.001	3.9
B	0.0035	3.7	0.16	0.35	0.015	0.0010	0.0015	0.0030	0.0005	0.0015	0.0009	0.0006	0.0008	0.062	0.030	0.029	0.001	4.1
C	0.0038	4.1	0.15	0.30	0.014	0.0008	0.0013	0.0028	0.0004	0.0012	0.0008	0.0007	0.0008	0.035	0.023	0.025	0.001	4.4
D	0.0045	4.5	0.17	0.21	0.008	0.0009	0.0012	0.0025	0.0006	0.0014	0.0010	0.0009	0.0010	0.010	0.025	0.027	0.001	4.7
E	0.0050	4.8	0.14	0.19	0.011	0.0012	0.0013	0.0020	0.0005	0.0012	0.0009	0.0006	0.0009	0.015	0.035	0.020	0.001	5.0
F	0.0050	4.8	0.14	0.39	0.008	0.0010	0.0012	0.0020	0.0004	0.0010	0.0010	0.0007	0.0009	0.018	0.035	0.020	0.001	5.2
G	0.0016	4.8	0.14	0.18	0.011	0.0011	0.0013	0.0022	0.0006	0.0011	0.0008	0.0007	0.0008	0.015	0.030	0.021	0.001	5.0
H	0.0065	4.1	0.18	0.22	0.012	0.0009	0.0011	0.0025	0.0005	0.0013	0.0009	0.0008	0.0009	0.010	0.025	0.028	0.001	4.3
I	0.0050	4.8	0.26	0.19	0.011	0.0010	0.0013	0.0021	0.0004	0.0012	0.0008	0.0007	0.0009	0.016	0.035	0.020	0.001	5.0
J	0.0038	4.2	0.15	0.04	0.013	0.0008	0.0012	0.0035	0.0004	0.0011	0.0008	0.0006	0.0008	0.030	0.025	0.025	0.001	4.2
K	0.0038	4.2	0.14	0.41	0.014	0.0009	0.0013	0.0028	0.0007	0.0010	0.0007	0.0008	0.0010	0.055	0.032	0.035	0.001	4.6
L	0.0037	4.4	0.14	0.60	0.012	0.0009	0.0013	0.0025	0.0007	0.0010	0.0007	0.0008	0.0009	0.053	0.030	0.033	0.001	5.0
M	0.0045	4.8	0.17	0.19	0.012	0.0005	0.0012	0.0026	0.0005	0.0012	0.0008	0.0008	0.0007	0.040	0.020	0.001	0.025	5.0
N	0.0053	4.1	0.15	0.32	0.020	0.0015	0.0014	0.0028	0.0008	0.0013	0.0010	0.0009	0.0008	0.010	0.020	0.032	0.001	4.4
O	0.0033	4.3	0.16	0.35	0.001	0.0008	0.0012	0.0025	0.0003	0.0014	0.0008	0.0008	0.0006	0.056	0.032	0.001	0.001	4.7
P	0.0045	4.0	0.10	0.18	0.023	0.0016	0.0020	0.0033	0.0005	0.0013	0.0009	0.0010	0.0009	0.057	0.036	0.023	0.001	4.2
Q	0.0036	3.9	0.18	0.29	0.016	0.0029	0.0018	0.0030	0.0008	0.0016	0.0007	0.0008	0.0006	0.009	0.011	0.018	0.001	4.2
R	0.0035	4.5	0.18	0.48	0.016	0.0010	0.0018	0.0024	0.0005	0.0014	0.0008	0.0008	0.0008	0.012	0.015	0.025	0.001	5.0
S	0.0042	3.6	0.15	0.40	0.014	0.0015	0.0020	0.0058	0.0003	0.0015	0.0010	0.0007	0.0010	0.062	0.036	0.020	0.001	4.0
T	0.0040	3.6	0.17	0.30	0.012	0.0010	0.0019	0.0029	0.0006	0.0014	0.0009	0.0010	0.0010	0.053	0.033	0.021	0.001	3.9
U	0.0036	3.4	0.16	0.45	0.015	0.0011	0.0015	0.0025	0.0005	0.0015	0.0010	0.0006	0.0010	0.031	0.025	0.022	0.001	3.9

† $4.0 \leq Si+Al \leq 5.0$ ...(i)

【0069】母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中的O含量，是透過前述方法來測定。

從所獲得之各試驗材的輥軋方向及寬度方向採取愛普斯坦試驗片，並透過依循JIS C 2550-1(2011)之愛普斯坦試驗來評價磁特性(鐵損$W_{10/400}$及磁通量密度B_{50})。進一步根據JIS Z 2241(2011)，並以長度方向與鋼板輥軋方向一致之方式，從各試驗材採取JIS 5號抗拉試驗片。然後，使用上述試驗片並根據JIS Z 2241(2011)進行抗拉試驗來測定抗拉強度。上述結果列示於表2。

另外，在表1及表2中，化學成分的底線意指本揭示範圍外，化學成分以外的底線則指適宜範圍外。

【0070】 [表2]

表2

試驗 No.	鋼種	精加工退火條件			母材的化學成分			試驗結果			
		均熱溫度 (℃)	均熱時間 (s)	露點 (℃)	C (質量%)	O (質量%)	表面起算至10μm之位置為止以外的區域中的O (質量%)	抗拉強度 (MPa)	$W_{10/400}$ (W/kg)	B_{50} (T)	
1	A	850	15	20	0.0025	0.0260	0.0029	579	15.3	1.67	比較例
2	B	850	15	20	0.0026	0.0265	0.0030	606	14.6	1.66	本發明例
3	C	740	15	25	0.0025	0.0283	0.0027	728	23.5	1.65	比較例
4		900	15	25	0.0025	0.0283	0.0026	636	13.1	1.65	本發明例
5		1060	15	25	0.0028	0.0262	0.0020	595	11.3	1.64	比較例
6	D	950	30	30	0.0024	0.0293	0.0020	667	11.2	1.63	本發明例
7	E	950	30	30	0.0029	0.0299	0.0023	702	11.0	1.61	
8	F	冷輥軋時斷裂									比較例
9	G										
10	H	800	15	30	0.0047	0.0300	0.0025	672	22.3	1.66	
11	I	1000	15	30	0.0030	0.0295	0.0021	692	11.3	1.59	
12	J	800	20	25	0.0025	0.0263	0.0034	673	22.5	1.65	
13	K	800	20	25	0.0026	0.0265	0.0025	695	15.7	1.64	本發明例
14	L	冷輥軋時斷裂									比較例
15	M	900	40	35	0.0020	0.0345	0.0026	719	12.6	1.60	本發明例
16		900	40	55	0.0015	0.0455	0.0025	716	12.9	1.59	比較例
17	N	800	15	-10	0.0052	0.0030	0.0026	679	22.2	1.65	
18		800	15	30	0.0028	0.0312	0.0026	675	16.7	1.64	本發明例
19	O	950	15	15	0.0026	0.0255	0.0025	651	11.3	1.62	
20	P	800	15	15	0.0039	0.0240	0.0030	655	18.3	1.65	
21	Q	800	10	25	0.0027	0.0270	0.0028	641	19.8	1.65	
22	R	冷輥軋時斷裂									比較例
23	S	800	15	25	0.0036	0.0310	0.0055	603	23.0	1.66	
24	T	800	15	25	0.0035	0.0292	0.0028	592	21.5	1.67	
25	U	800	15	25	0.0030	0.0285	0.0026	590	21.2	1.67	

【0071】 瞭解到：鋼板化學組成及精加工退火後均熱溫度、均熱時間及露點滿足本揭示之規定者，即試驗No.2、4、6、7、13、15、16、18~21，其等鐵損及磁通量密度優異，尤其鐵損低，並且具有600MPa以上之高抗拉強度。

【0072】 相對於此等，比較例即試驗No.1、3、5、8~12、14、17、22~25，其等磁特性及強度之至少一者差或者韌性顯著劣化而變得難以製造。

【0073】 具體而言，在試驗No.1中，由於Si含量比規定範圍還低，Al含量比

規定範圍還高，且比(i)式之規定值還低，結果抗拉強度差。又，化學組成滿足規定的試驗No.3~6作一比較後，在試驗No.3中，由於精加工退火之均熱溫度比規定範圍還低，故其鐵損差；在試驗No.5中，由於精加工退火之均熱溫度比規定範圍還高，結果抗拉強度差。

【0074】 又，在試驗No.8中比(i)式之規定值還高，在試驗No.9中鋼塊的C含量比規定範圍還低，在試驗No.14中，Al含量大於規定範圍，因而韌性劣化並於冷輥軋時斷裂，無法實施抗拉強度及磁特性之測定。在試驗No.10中，由於母材的C含量高，結果鐵損差。在試驗No.11中，由於Mn含量比規定值還高，結果磁通量密度差。在試驗No.12中，由於Al含量比規定值還低，結果鐵損差。

【0075】 在試驗No.17中，由於精加工退火之露點低於規定範圍且母材的C含量大於規定範圍，結果鐵損差。

在試驗No.22中，與試驗No.14同樣是Al含量大於規定範圍，因而韌性劣化並於冷輥軋時斷裂，無法實施抗拉強度及磁特性之測定。

在試驗No.23中，由於鋼板(母材)其表層10μm以外之區域中的O含量大於規定範圍，結果鐵損差。

在試驗No.24中，Si含量及Al含量雖分別在規定範圍，但由於Si含量與Al含量之合計是比(i)式之規定值還低，結果抗拉強度差。

在試驗No.25中，由於Si含量比規定值還低，而且Si與Al含量之合計是比(i)式之規定值還低，結果抗拉強度差。

【0076】 產業上之可利用性

如以上所述，根據本揭示，便能以低成本方式穩定獲得一種具有高強度及優異磁特性的無方向性電磁鋼板。

【0077】 本說明書是參照2020年4月16日申請之日本專利申請案第2020-073211號之揭示並將其全體編入本說明書中。本說明書所記載之全部文獻、專利

申請案及技術規格，是與具體且個別記載各文獻、專利申請案及技術規格時相同程度，經由參照而編入本說明書中。

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成以質量%計：

C：0.0010~0.0040%、

Si：3.5~4.9%、

Mn：0.05~0.20%、

Al：0.05~0.45%、

P：0.030%以下、

S：0.0030%以下、

N：0.0030%以下、

O：0.0100~0.0400%、

Ca：小於0.0010%、

Ti：小於0.0050%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.20%、

Ni：小於0.50%、

Sn：0~0.05%、

Sb：0~0.05%、及

剩餘部分：Fe及不純物，並且

滿足下述(i)式；

前述母材表面起算朝深度方向至10μm之位置為止以外的區域中，O含量小於0.0050%；

$4.0 \leqq Si+Al \leqq 5.0$ ・・・(i)

其中，上述式(i)中的元素符號為前述母材中各元素含量(質量%)。

【請求項2】 如請求項1之無方向性電磁鋼板，其抗拉強度為600MPa以上。

【請求項3】 如請求項1之無方向性電磁鋼板，其於前述母材表面具有絕緣覆膜。

【請求項4】 如請求項2之無方向性電磁鋼板，其於前述母材表面具有絕緣覆膜。

【請求項5】 一種無方向性電磁鋼板的製造方法，是製造如請求項1至請求項4中任1項之無方向性電磁鋼板的方法，且對於下述鋼塊依序施予熱輥軋步驟、冷輥軋步驟、及精加工退火步驟；該精加工退火步驟之均熱溫度為750~1050℃、均熱時間為1~300s且露點設為0~50℃；

該鋼塊具有下述化學組成：

以質量%計，

C：0.0020~0.0060%、

Si：3.5~4.9%、

Mn：0.05~0.20%、

Al：0.05~0.45%、

P：0.030%以下、

S：0.0030%以下、

N：0.0030%以下、

O：小於0.0050%、

Ca：小於0.0010%、

Ti：小於0.0050%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.20%、

Ni：小於0.50%、

Sn：0~0.05%、

Sb：0~0.05%、及

剩餘部分：Fe及不純物，並且

滿足下述(i)式：

$4.0 \leqq Si+Al \leqq 5.0$・・・(i)

其中，上述式(i)中的元素符號為前述鋼塊中各元素含量(質量%)。

【請求項6】 如請求項5之無方向性電磁鋼板的製造方法，其於前述熱輥軋步驟與前述冷輥軋步驟之間，進一步具備熱軋板退火步驟。