



(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 I525198 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 03 月 11 日

(21)申請案號：103128444

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 19 日

(51)Int. Cl. : C22C38/06 (2006.01)

C21D8/12 (2006.01)

C21D9/46 (2006.01)

H01F1/16 (2006.01)

(30)優先權：2013/08/20 日本

2013-170160

(71)申請人：J F E 鋼鐵股份有限公司 (日本) JFE STEEL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：中西匡 NAKANISHI, TADASHI (JP)；小関新司 KOSEKI, SHINJI (JP)；尾田善彦 ODA, YOSHIHIKO (JP)；戶田広朗 TODA, HIROAKI (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201329244A

KR 2002-0018226A

審查人員：梁一凡

申請專利範圍項數：4 項 圖式數：1 共 28 頁

(54)名稱

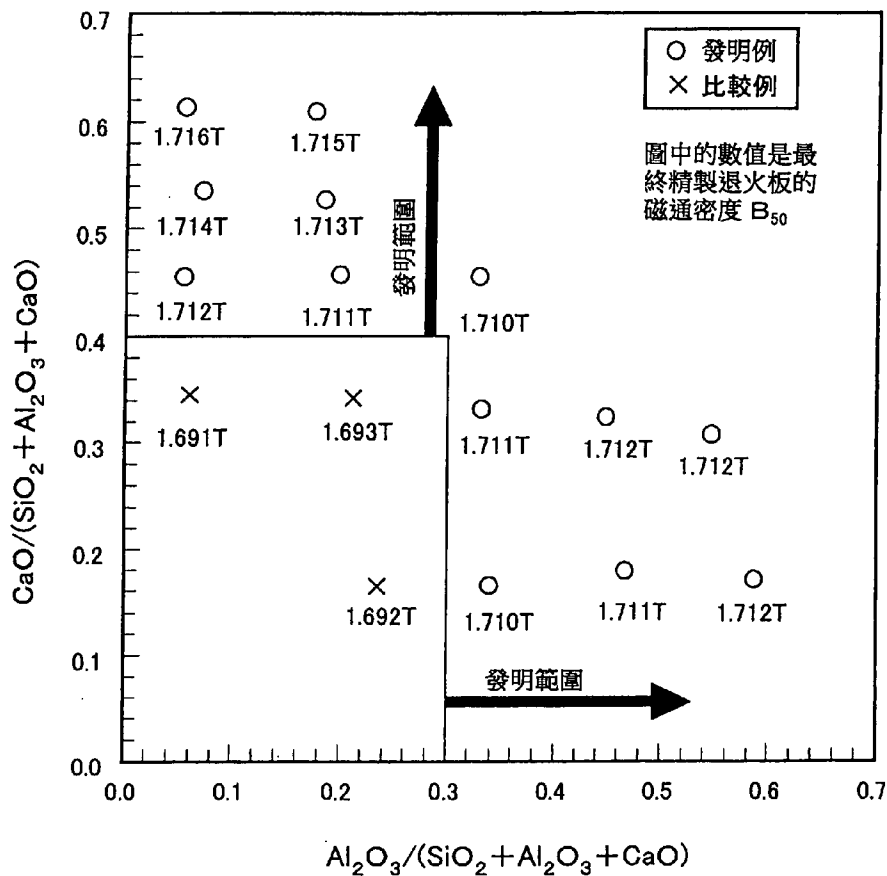
無方向性電磁鋼板及其熱軋鋼板

(57)摘要

本發明係提供：具有高磁通密度，而且不僅是在商用頻率波段，即使是在高頻率波段中，也是低鐵損的無方向性電磁鋼板以及作為其素材的熱軋鋼板，其組成分，以質量%計，係含有 C：0.0050%以下、Si：超過 1.5%且 5.0%以下、Mn：0.10%以下、sol.Al：0.0050%以下、P：超過 0.040%且 0.2%以下、S：0.0050%以下、N：0.0040%以下、以及 Ca：0.001~0.01%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成，存在於鋼板中的氧化物系夾雜物中的 CaO 的組成比率為 0.4 以上及/或 Al₂O₃ 的組成比率為 0.3 以上。

指定代表圖：

圖 1



發明摘要

※申請案號：103128444

C22C 28/06 (2006.01)

※申請日：103年08月19日

C21D 8/12 (2006.01)

※IPC分類：C21D 9/46 (2006.01)

H01F 1/16 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

無方向性電磁鋼板及其熱軋鋼板

【中文】

本發明係提供：具有高磁通密度，而且不僅是在商用頻率波段，即使是在高頻率波段中，也是低鐵損的無方向性電磁鋼板以及作為其素材的熱軋鋼板，其組成分，以質量%計，係含有 C：0.0050%以下、Si：超過 1.5%且 5.0%以下、Mn：0.10%以下、sol.Al：0.0050%以下、P：超過 0.040%且 0.2%以下、S：0.0050%以下、N：0.0040%以下、以及 Ca：0.001~0.01%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成，存在於鋼板中的氧化物系夾雜物中的 CaO 的組成比率為 0.4 以上及/或 Al₂O₃ 的組成比率為 0.3 以上。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(1)圖。

：【本代表圖之符號簡單說明】：無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

無方向性電磁鋼板及其熱軋鋼板

【技術領域】

[0001] 本發明是關於：被用於電動車或油電混合車的驅動用馬達或發電機用馬達等的鐵心材料之高磁通密度且低鐵損的無方向性電磁鋼板、以及作為其素材的熱軋鋼板。

【先前技術】

[0002] 近年來，油電混合車或電動車的實用化急速地進展。這些汽車的驅動用馬達或發電機用馬達，因為驅動系統的發達，已經可進行驅動電源的頻率控制，因此為了將馬達予以小型化，可變速運轉或可在商用頻率以上的高頻率波段進行高速旋轉的馬達也在增加中。隨著這種趨勢，針對於使用於這種馬達的鐵心之無方向性電磁鋼板，基於謀求高效率化以及高輸出化的觀點，乃迫切地期望能夠達到：高磁通密度化以及在高頻率波段時的低鐵損化。

[0003] 作為減少無方向性電磁鋼板的鐵損的方法，傳統上，一般是採用：藉由增加 Si 或 Al、Mn 等之可提高固有電阻的元素的添加量，以減少渦電流損失的方法。但是，這種手法，是會有無法避免磁通密度下降的問題。

[0004] 因此，有人曾經提出幾種技術方案，用以提高無方向性電磁鋼板的磁通密度。例如：專利文獻 1 的技術方案，是在 C：0.005 質量%以下、Si：0.1~1.0 質量%、sol.Al：未滿 0.002 質量%的鋼素材中，添加 P 在 0.05~0.200 質量%的範圍，並且將 Mn 予以減少到 0.20 質量%以下，藉此來謀求高磁通密度化。但是，若將這種方法應用在實際生產上，在於軋軋工序等的過程中，頻繁地發生鋼板斷裂等的問題，因而會有導致製造生產線的停止或者生產良率的下降之問題。又，Si 含量是低到 0.1~1.0 質量%的程度，因此，會有鐵損，尤其是在高頻率波段時的鐵損偏高之問題。

[0005] 又，專利文獻 2 所揭示的技術方案，是將含有 Si：1.5~4.0 質量%以及 Mn：0.005~11.5 質量%之鋼素材中的 Al 含量，予以限定在 0.017 質量%以下，以資謀求高磁通密度化。但是，這種方法，是採用在室溫下的單次軋軋法來作為冷間軋軋，因此無法獲得充分的磁通密度的提昇效果。此外，如果將上述冷間軋軋改成：包含有中間退火之兩次以上的冷間軋軋的話，雖然可以提昇磁通密度，但是卻有製造成本上昇的問題。此外，如果將上述冷間軋軋改成：在板溫為 200°C 程度的狀態下進行軋軋的溫間軋軋的話，雖然也可以有效地提昇磁通密度，但是為了實施溫間軋軋，必須在設備上加以對應，還有需要相應的工程管理，這些都是其問題。

[0006] 又，除了有這種減少 Mn 或 Al 的含量，或者

添加 P 的方法之外，專利文獻 3 等所揭示的技術方案，是以謀求高磁通密度化為目的，亦可在以重量%計，含有 C：0.02%以下、Si 或 Si+Al：4.0%以下、Mn：1.0%以下、P：0.2%以下的胚料中，添加入 Sb 或 Sn。

[0007] 此外，專利文獻 4 所揭示的技術方案，是將以重量%計，含有 $C \leq 0.008\%$ 、 $Si \leq 4\%$ 、 $Al \leq 2.5\%$ 、 $Mn \leq 1.5\%$ 、 $P \leq 0.2\%$ 、 $S \leq 0.005\%$ 、 $N \leq 0.003\%$ 的熱軋板中的氧化物系夾雜物的組成比率，予以控制成： $MnO / (SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MnO) \leq 0.35$ ，藉此，來減少朝輻輳方向延伸的夾雜物的數量，以資提昇結晶粒成長性的技術方案。然而，這種技術，當 Mn 的含量很低的情況下，會有因晶析出細微的 MnS 等的硫化物，而導致磁力特性，尤其是鐵損特性惡化之問題。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

[0008]

[專利文獻 1]日本特公平 06-080169 號公報

[專利文獻 2]日本特許第 4126479 號公報

[專利文獻 3]日本特許第 2500033 號公報

[專利文獻 4]日本特許第 3378934 號公報

【發明內容】

[發明所欲解決的技術課題]

[0009] 然而，上述的習知技術在實際上的困難點係

為：如果不採用新設備來進行對應，或者不採用相應的工程管理的話，就很難以低成本且以高生產性來製造出：即使是在渦電流損失很低之 Si 含量超過 3.0 質量%的領域中，也是具有高磁通密度，並且在高頻率波段中的鐵損很低的無方向性電磁鋼板。

[0010] 本發明係有鑒於習知技術中所存在的上述問題點，而開發完成的，其目的是在於提供：具有高磁通密度，而且不僅是在商用頻率波段，即使是在高頻率波段中，也是低鐵損的無方向性電磁鋼板以及作為其素材的熱軋鋼板。

[用以解決課題的技術方案]

[0011] 本發明人等，為了解決上述課題，乃著眼於：存在於鋼板中的氧化物系夾雜物，不斷地加以檢討。其結果，找到了一種創見，就是：若想要提昇無方向性電磁鋼板的磁通密度，除了極力減少 Mn 及 sol.Al 之外，必須添加 Ca，並且將存在於熱軋鋼板中以及製品鋼板中的氧化物系夾雜物的組成比率，予以控制在特定的範圍的作法是有效的，因而開發完成了本發明。

[0012] 亦即，本發明的無方向性電磁鋼板，其組成分，是含有 C：0.0050 質量%以下、Si：超過 1.5 質量%且 5.0 質量%以下、Mn：0.10 質量%以下、sol.Al：0.0050 質量%以下、P：超過 0.040 質量%且 0.2 質量%以下、S：0.0050 質量%以下、N：0.0040 質量%以下、以及 Ca：

0.001~0.01 質量%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成，

存在於鋼板中的氧化物系夾雜物中之根據下列 (1) 式所定義的 CaO 的組成比率為 0.4 以上、及/或根據下列 (2) 式所定義的 Al₂O₃ 的組成比率為 0.3 以上，

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (1) \text{式},$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (2) \text{式}。$$

[0013] 本發明的無方向性電磁鋼板的特徵為：其係在上述組成分之外，又含有：從 Sn 以及 Sb 之中所選出的 1 種或 2 種，含量分別為 0.01~0.1 質量%。

[0014] 又，本發明是作為上述無方向性電磁鋼板的素材之熱軋鋼板，其組成分，是含有 C：0.0050 質量%以下、Si：超過 1.5 質量%且 5.0 質量%以下、Mn：0.10 質量%以下、sol.Al：0.0050 質量%以下、P：超過 0.040 質量%且 0.2 質量%以下、S：0.0050 質量%以下、N：0.0040 質量%以下、以及 Ca：0.001~0.01 質量%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成，存在於鋼板中的氧化物系夾雜物中之根據下列 (1) 式所定義的 CaO 的組成比率為 0.4 以上、及/或根據下列 (2) 式所定義的 Al₂O₃ 的組成比率為 0.3 以上，

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (1) \text{式},$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (2) \text{式}。$$

[0015] 本發明的熱軋鋼板的特徵為：其係在上述組成分之外，又含有：從 Sn 以及 Sb 之中所選出的 1 種或 2

種，含量分別為 0.01~0.1 質量%。

〔發明之效果〕

[0016] 根據本發明，無需採用新的設備來進行對應，也不必做相應的工程管理，即可以低成本且高生產性來提供：具有高磁通密度，並且即使在商用頻率或高頻率波段中，也是低鐵損的無方向性電磁鋼板。因此，本發明的無方向性電磁鋼板，係可適合被使用作為：電動車或油電混合車的驅動用馬達或發電機用馬達等的鐵心材料。

【圖式簡單說明】

[0017] 第 1 圖是顯示：存在於鋼板中的氧化物系夾雜物的組成比率對於磁通密度 B_{50} 造成的影響之圖表。

【實施方式】

[0018] 首先，本發明人等係參考前述的習知技術，使用：除了將 Mn 以及 Al 的含量極力地減少之外，也添加了 P 與 Sn 及/或 Sb 的成分系的鋼胚，具體而言，係使用含有 C：0.0017 質量%、Si：3.3 質量%、Mn：0.03 質量%、P：0.08 質量%、S：0.0020 質量%、sol.Al：0.0009 質量%、N：0.0018 質量%以及 Sn：0.03 質量%之鋼胚，執行了用來檢討：藉由改善集合組織來提昇磁通密度的對策的實驗。

[0019] 但是，在將上述鋼胚予以加熱到 1100℃ 之

後，進行熱間軋軋直到厚度變成 2.0mm 為止的時候，會發生有一部分的材料因脆性而產生裂痕或斷裂的問題。因此，為了要瞭解發生斷裂的原因，而針對於發生斷裂的熱軋途中的鋼板進行了調查的結果，得知係在裂痕部有 S 濃化的現象。並且在這個 S 濃化部，並未看到有 Mn 的濃化現象，因此就推定這種脆性的原因，是因為鋼中的 S 在熱間軋軋時形成了低融點的 FeS 的緣故。

● [0020] 為了防止因 FeS 的生成所造成的脆性，只要將 S 含量減少即可，但是想要減少 S 含量的話，脫硫成本將會增加，因此係有其限度。另一方面，雖然也是有藉由 Mn 的添加來抑制 S 所造成的脆性的方法，但是 Mn 的添加，對於提昇磁通密度是不利的。

因此，本發明人等，就想定為：只要添加 Ca 來將 S 變成 CaS 予以固定而使其晶析出來的話，即可防止液相的 FeS 的生成，而可以防止在熱間軋軋時的脆性，因此，乃進行了以下所述的實驗。

● [0021] 將含有 C：0.0017 質量%、Si：3.3 質量%、Mn：0.03 質量%、P：0.09 質量%、S：0.0018 質量%、sol.Al：0.0005 質量%、N：0.0016 質量%、Sn：0.03 質量%以及 Ca：0.0030 質量%所構成的鋼胚，再加熱到 1100°C 的溫度，進行熱間軋軋使厚度變成為 2.0mm 的時候，並未發生裂痕或斷裂的現象。

從以上的情事可得知：想要防止熱間軋軋時的裂痕或斷裂的話，添加 Ca 的作法是有效的。

[0022] 其次，本發明人等，使用掃描型電子顯微鏡（SEM），針對於：與以上述成分系的鋼胚作為素材來製造的熱軋板以及製品板（最終精製退火板）的軋軋方向形成直角的斷面（C 斷面）進行觀察，對於存在於鋼板中的氧化物系夾雜物的組成分進行分析，調查了該分析結果與製品板的磁力特性之間的關係。其結果，發現了：依據存在於鋼板中的氧化物系夾雜物的組成分，尤其是 CaO 的組成比率以及 Al_2O_3 的組成比率的不同，磁力特性係有發生變動的傾向。

[0023] 因此，本發明人等，想要進一步在上述成分系的鋼中，改變氧化物系夾雜物的組成分，而將當作脫氧劑來使用的 Al 以及 Ca 的添加量做各種的改變的鋼，具體而言，係先熔製出具有 C：0.0010~0.0030 質量%、Si：3.2~3.4 質量%、Mn：0.03 質量%、P：0.09 質量%、S：0.0010~0.0030 質量%、sol.Al：0.0001~0.00030 質量%、N：0.0010~0.0030 質量%、Sn：0.03 質量%以及 Ca：0.0010~0.0040 質量%之組成分的各種的鋼，進行連續鑄造而製作成鋼胚。此外，上述 C、Si、S 以及 N 所具有的組成範圍，是因為熔製時的偏差值所形成的，並不是刻意選定的範圍。

[0024] 接下來，將上述鋼胚再加熱到 1100°C 的溫度之後，進行熱間軋軋而做成板厚為 2.0mm 的熱軋板，以均熱溫度為 1000°C 來實施熱軋板退火，進行酸洗，進行冷間軋軋而做成最終板厚為 0.35mm 的冷軋板，以 1000°C

的溫度實施了最終精製退火。

[0025] 針對於以這種方式製得的最終精製退火後的鋼板，從軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C）切取出愛波斯坦（Epstein）測試片，依據日本工業規格 JIS C2552，測定了磁通密度 B_{50} （在磁化力為 5000A/m 時的磁通密度）。

此外，使用掃描型電子顯微鏡（SEM）來觀察最終精製退火板之與軋軋方向形成直角的斷面，對於氧化物系夾雜物的組成分進行分析，求出根據下列（1）式來定義的 CaO 的組成比率，

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (1)\text{式};$$

以及根據下列（2）式來定義的 Al_2O_3 的組成比率，

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (2)\text{式}。$$

此外，上述 CaO 以及 Al_2O_3 的組成比率，都是針對於 20 個以上的氧化物系夾雜物所求出的平均值。

[0026] 第 1 圖係顯示出：磁通密度 B_{50} 與氧化物系夾雜物的 CaO 的組成比率以及 Al_2O_3 的組成比率之關係。由這個圖可以看出：在 CaO 的組成比率，亦即， $\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ 未滿 0.4；而且 Al_2O_3 的組成比率，亦即， $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ 未滿 0.3 的範圍內，磁通密度 B_{50} 是不佳，相反地，如果是在 $\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ 為 0.4 以上及 / 或 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ 為 0.3 以上的最終精製退火板的話，磁通密度 B_{50} 是良好的。

[0027] 此外，針對於磁通密度 B_{50} 不佳的最終精製退火板的熱軋板，使用掃描型電子顯微鏡（SEM）來觀察 C 斷面，進行測定了氧化物系夾雜物的 CaO 的組成比率、以及、 Al_2O_3 的組成比率，結果係與最終精製退火板幾乎相同。

此外，針對於磁通密度 B_{50} 不佳的最終精製退火板，使用光學顯微鏡觀察了在軋軋方向斷面上的氧化物系夾雜物的結果，都是具有朝往軋軋方向延伸的形態。

[0028] 針對於上述的結果，本發明人等係有下列的看法。

CaO 的組成比率（ $CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + CaO)$ ）未滿 0.4 且 Al_2O_3 的組成比率（ $Al_2O_3 / (SiO_2 + Al_2O_3 + CaO)$ ）未滿 0.3 的氧化物系夾雜物，因為融點很低，所以在進行熱間軋軋的時候，係有朝往軋軋方向伸長的傾向。被認為是：朝往軋軋方向伸長的夾雜物，將會阻礙在熱軋板退火中的晶粒成長，會使得最終冷軋前的結晶粒徑變小。此外，雖然說是，在最終精製退火時，會從因冷間軋軋而產生變形後的組織的結晶粒界，生成具有對於磁力特性不利的 {111} 方位的再結晶核，但卻被認為是：因為最終冷軋前的粒徑變小而導致來自粒界的 {111} 方位的生成數增加，促進了 {111} 組織的發達之結果，磁通密度 B_{50} 變得不佳。

本發明就是依據上述新穎的創見而開發完成的。

[0029] 其次，說明限定本發明的無方向性電磁鋼板

的組成分之理由。

C：0.0050 質量%以下

C 是可使鐵損增加的元素，尤其是超過 0.0050 質量%的話，鐵損的增加更趨顯著，因此乃限制在 0.0050 質量%以下。更好是 0.0030 質量%以下。此外，至於下限，是愈少愈好，因此並不特別地加以規定。

[0030]

Si：超過 1.5 質量%且 5.0 質量%以下

Si 一般是當作鋼的脫氧劑來進行添加，但是在電磁鋼板中，是用來提高電阻以減少鐵損之有效的元素。尤其是在本發明中，因為並不添加 Al、Mn 等的其他之可提高電阻的元素，所以 Si 就成為提高電阻的主要元素，因此係作積極性的添加達到超過 1.5 質量%。但是，Si 若超過 5.0 質量%的話，在進行冷間軋軋中，會發生龜裂因而降低製造性，而且磁通密度也會降低，因此將上限選定為 5.0 質量%。更好是在 3.0~4.5 質量%的範圍。

[0031]

Mn：0.10 質量%以下

為了提高磁通密度，Mn 的含量愈少愈好，Mn 若是與 S 一起形成 MnS 而晶析出來的話，不僅會妨礙磁壁的移動，也會阻礙晶粒成長，是使磁力特性惡化的有害元素。基於這種觀點考量，係將 Mn 限制在 0.10 質量%以下。更好是在 0.08 質量%以下。此外，至於下限，是愈少愈好，

因此並不特別地加以規定。

[0032]

P：超過 0.040 質量%且 0.2 質量%以下

P 是具有提昇磁通密度的效果，因此，在本發明中，是添加超過 0.040 質量%。但是，P 的過剩添加，將會導致軋軋性的變差，所以將上限選定為 0.2 質量%。更好是在 0.05~0.1 質量%的範圍。

[0033]

S：0.0050 質量%以下

S 是會形成晶析物或夾雜物，導致製品的磁力特性惡化，所以是愈少愈好。此外，在本發明中，是添加 Ca 來抑制 S 的不良影響，所以 S 的上限可以被容許到達 0.0050 質量%。此外，為了不要讓磁力特性惡化，是選定在 0.0025 質量%以下為佳。此外，S 是愈少愈好，因此並不特別地規定其含量的下限。

[0034]

sol.Al (酸可溶 Al)：0.0050 質量%以下

Al 是與 Si 同樣地，一般是當作鋼的脫氧劑來進行添加，但是，在電磁鋼板中，則是用來作為提高電阻以減少鐵損之有效的元素。但是，Al 也是會形成氮化物而晶析出來，阻礙晶粒成長而降低磁通密度的元素。因此，在本發明中，為了提昇磁通密度，係以 sol.Al (酸可溶 Al) 的形態，限制在 0.0050 質量%以下。更好是在 0.0010 質量%以下。此外，至於下限，是愈少愈好，因此並不特別地加

以規定。

[0035]

N : 0.0040 質量%以下

N 是與前述的 C 同樣，會使磁力特性惡化，因此限制在 0.0040 質量%以下。更好是在 0.0030 質量%以下。此外，至於下限，是愈少愈好，因此並不特別地加以規定。

[0036]

Ca : 0.001~0.01 質量%

Ca 在鋼中，係可將 S 固定起來，以防止生成液相的 FeS，因此具有可使熱間軋軋性趨於良好的效果。在本發明中的 Mn 含量是較之一般的無方向性電磁鋼板更低，因此，必須添加 Ca。又，在 Mn 含量較低之本發明的鋼中，Ca 係可將 S 固定起來，藉由促進晶粒成長，而具有提昇磁通密度的效果。想要獲得這些效果，必須添加成 0.001 質量%以上。另一方面，若添加超過 0.01 質量%的話，Ca 的硫化物或氧化物將會增加，會阻礙晶粒成長，降低磁通密度，因此必須將上限選定在 0.01 質量%。更好是在 0.002~0.004 質量%的範圍。

[0037] 本發明的無方向性電磁鋼板，除了上述的必要組成成分之外，又可在下列的範圍內，添加 Sn、Sb 為佳。

Sn,Sb : 0.01~0.1 質量%

Sn 以及 Sb 都是具有：可改善集合組織，提高磁力特

性的效果，但是想要獲得該效果，無論是做單獨添加或做複合添加時，分別都添加達到 0.01 質量%以上為宜。另一方面，如果過剩地添加的話，鋼會變得脆化，在製造途中會引起鋼板斷裂或鱗片等的表面缺陷，因此無論是做單獨添加或是做複合添加的情況下，分別都是在 0.1 質量%以下為宜。更好是分別都在 0.02~0.05 質量%的範圍。

[0038] 此外，本發明的無方向性電磁鋼板，在上述成分以外的其餘部分是 Fe 以及不可避免的雜質。然而，只要是在不妨礙本發明的作用效果的範圍內的話，也不排除可以含有其他的元素。

[0039] 其次，說明存在本發明的無方向性電磁鋼板中的夾雜物的組成成分。

本發明的無方向性電磁鋼板，為了要具有優異的磁力特性，必須在製品板（最終精製退火板）、以及、作為其素材的熱軋板中，將存在於鋼中的氧化物系夾雜物之 CaO 的組成比率（ $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ ）選定在 0.4 以上及/或將 Al_2O_3 的組成比率（ $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ ）選定在 0.3 以上。這是因為：如果脫離上述範圍的話，氧化物系夾雜物將會因為軋軋而伸展，因此將會阻礙熱軋板退火時的晶粒成長，導致磁力特性惡化。更好的是：CaO 的組成比率是在 0.5 以上及/或 Al_2O_3 的組成比率是在 0.4 以上的範圍。

此外，存在於鋼板中的氧化物系夾雜物之 CaO 的組成比率以及 Al_2O_3 的組成比率，係使用掃描型電子顯微鏡

(SEM) 觀察鋼板之與軋軋方向形成直角的斷面，從分析了 20 個以上的氧化物系夾雜物的組成分之後的平均值所計算出來的數值。

[0040] 其次，將說明如何可將存在於本發明的無方向性電磁鋼板中的夾雜物的組成分，控制在上述的適正範圍的方法。

為了將夾雜物的組成分，尤其是 CaO 的組成比率以及 Al₂O₃ 的組成比率，予以控制在上述的適正範圍，必須將二次精煉工程中作為脫氧劑的 Si 或 Al 的添加量、Ca 的添加量、脫氧時間等，予以適正化（最佳化）。

具體而言，為了提高 Al₂O₃ 的組成比率，係增加作為脫氧劑的 Al 的添加量。然而，Al 的添加量增加的話，sol.Al 也會增加，因此，是在讓 sol.Al 含量落在 0.0050 質量%以下的範圍內的條件下，來增加 Al 的添加量。另一方面，為了提高 CaO 的組成比率，係添加 CaSi 等，當作 Ca 的來源。藉此，能夠將存在於鋼中的氧化物系夾雜物的組成比率控制在上述的範圍。此外，Al 是氮化物形成元素，Ca 是硫化物形成元素，因此，作為脫氧劑的 Al、作為 Ca 來源的 CaSi 的添加量，是配合 N 或 S 的含量，來進行調整，以資達成上述的 CaO 的組成比率以及 Al₂O₃ 的組成比率的作法也是很重要的。

[0041] 其次，說明本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法。

本發明的無方向性電磁鋼板，係可以使用：一般的無

方向性電磁鋼板所適用的製造設備以及一般的製造工程來進行製造。亦即，本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法，首先，是利用轉爐或電爐等來熔製鋼，再將其利用脫氣處理設備等來進行二次精煉，調製成預定組成分之後，以連續鑄造法或造塊-分塊軋軋法來製作成鋼素材（鋼胚）。

[0042] 此處，在本發明的製造方法中，最重要的事情是如前所述這般地，必須將存在於鋼中的氧化物系夾雜物的組成分，予以控制在適正範圍，亦即，必須將 CaO 的組成比率（ $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ ）控制在 0.4 以上、及 / 或、必須將 Al_2O_3 的組成比率（ $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ ）控制在 0.3 以上。至於其方法則是如上所述的方法。

[0043] 根據上述的方法所製得的鋼胚，後續又實施：熱間軋軋、熱軋板退火、酸洗、冷間軋軋、最終精製退火、並且進行絕緣披膜的塗覆及燒結而製作成無方向性電磁鋼板（製品板），在這些各工序中的製造條件，雖然也可以採用與一般的無方向性電磁鋼板的製造方法相同的製造條件，但設定在以下的範圍則是更好。

[0044] 首先，在進行熱間軋軋時，將鋼胚予以再加熱的溫度（SRT）是設定在 $1000\sim 1200^\circ\text{C}$ 的範圍為佳。其原因是因為：SRT 若超過 1200°C 的話，能源損失變大，不僅是不經濟，鋼胚的高溫強度變差而容易導致發生鋼胚下垂等的製造上的問題。另一方面，若低於 1000°C 的

話，熱間軋軋將變得困難，並不適合。

[0045] 後續的熱間軋軋的條件，雖然只要以一般的條件來進行即可，但是熱軋後的鋼板的厚度，基於確保生產性的觀點考量，是在 1.5~2.8mm 的範圍為宜。更好是在 1.7~2.3mm 的範圍。

[0046] 後續的熱軋板退火，是將均熱溫度選定在 900~1150℃ 的範圍來實施為宜。因為均熱溫度未滿 900℃ 的話，軋軋組織將會殘留下來，無法獲得充分的磁力特性的改善效果。另一方面，若超過 1150℃ 的話，結晶粒會變粗大化，冷間軋軋時不僅容易發生裂痕，在經濟方面會變得不利之緣故。

[0047] 其次，熱軋板退火後的鋼板，再經過 1 次或者包含有中間退火在內的 2 次以上的冷間軋軋，而製作成最終板厚的冷軋板。此時，為了提昇磁通密度，最好是採用：將板溫上昇到 200℃ 程度之後才進行軋軋的溫間軋軋。此外，冷軋板的厚度（最終板厚）雖然並不特別地規定，但是設定在 0.10~0.50mm 的範圍更好。此外，為了獲得鐵損減少的效果，設定在 0.10~0.30mm 的範圍好優。

[0048] 冷間軋軋後的鋼板（冷軋板），後續又實施最終精製退火。這個最終精製退火的均熱溫度是設定在 700~1150℃ 的範圍為佳。因為均熱溫度若未滿 700℃ 的話，再結晶無法充分進行，除了磁力特性會大幅地惡化之外，也無法充分地獲得在連續退火時的板形狀的矯正效果。另一方面，若超過 1150℃ 的話，結晶粒會變粗大

化，在高頻率波段時的鐵損會增大之緣故。

[0049] 接下來，最終精製退火後的鋼板，為了要更為減少鐵損，是在鋼板表面進行塗覆絕緣披膜且進行燒結處理為佳。此外，上述的絕緣披膜若想要確保具有良好的衝孔性的話，係採用含有樹脂的有機披覆膜為佳。如果是重視焊接性的話，則是採用半有機披覆膜或無機披覆膜為佳。

[實施例 1]

[0050] 熔製出具有如表 1 所示的 A~Q 的組成分之不同的鋼，利用連續鑄造來製作成鋼胚。此外，在進行上述鋼的熔製時，雖然是使用 Si 當作脫氧劑，但是在鋼 B 中，脫氧劑係除了 Si 之外，也使用了 Al。又，使用 CaSi 作為 Ca 來源，這些脫氧劑或 CaSi 的量，是配合鋼中的 N 或 S 含量來做調整。

接下來，將上述鋼胚，予以再加熱到達 1050~1130°C 的溫度之後，進行熱間軋軋而製作成板厚為 2.0mm 的熱軋板，以連續退火的方式，實施了均熱溫度為 1000°C 的熱軋板退火之後，進行冷間軋軋而製作成最終板厚為 0.35mm 的冷軋板，以均熱溫度為 1000°C 的條件來進行最終精製退火，然後披覆了絕緣披膜，製作成無方向性電磁鋼板（製品板）。此外，上述表 1 所示的鋼 E 以及 Q，因為是在冷間軋軋過程中，產生了裂痕，所以中止了其後續的工序。

[0051]

[表1]

鋼符號	化學成分 (質量%)										氧化物系夾雜物的組成比率						製品板的磁力特性		備考
	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N	Sn	Sb	Ca	CaO/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +CaO)			Al ₂ O ₃ /(SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +CaO)		W _{15/30} (W/kg)	磁通密度 B ₃₀ (T)		
											熟軋板	製品板	熟軋板	製品板					
A	0.0017	3.36	0.024	0.08	0.0016	0.0008	0.0017	0.038	—	0.0032	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	1.98	1.712	發明例	
B	0.0019	3.38	0.025	0.07	0.0016	0.0015	0.0016	0.039	—	0.0017	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	2.01	1.711	發明例	
C	0.0018	3.37	0.024	0.08	0.0018	0.0005	0.0019	0.039	—	0.0018	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	2.15	1.693	比較例	
D	0.0016	3.29	0.024	0.07	0.0017	0.0007	0.0018	—	0.028	0.0028	0.4	0.5	0.2	0.2	0.1	2.02	1.710	發明例	
E	0.0017	5.15	0.032	0.07	0.0020	0.0009	0.0018	0.037	—	0.0032	冷間軋過程中發生裂隙						—	—	比較例
F	0.0019	3.93	0.031	0.08	0.0018	0.0003	0.0021	0.028	—	0.0034	0.5	0.4	0.1	0.1	0.1	1.88	1.701	發明例	
G	0.0014	1.85	0.029	0.08	0.0015	0.0015	0.0022	0.028	—	0.0036	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	2.45	1.749	發明例	
H	0.0018	1.40	0.028	0.07	0.0019	0.0018	0.0016	0.029	—	0.0036	0.6	0.7	0.3	0.3	0.3	2.61	1.758	比較例	
I	0.0021	3.21	0.057	0.12	0.0022	0.0008	0.0033	0.027	0.015	0.0035	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	1.96	1.715	發明例	
J	0.0020	3.31	0.128	0.08	0.0022	0.0009	0.0020	0.031	0.025	0.0027	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	2.12	1.694	比較例	
K	0.0018	3.28	0.046	0.08	0.0020	0.0001	0.0022	0.050	—	0.0028	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	1.97	1.715	發明例	
L	0.0019	3.31	0.035	0.09	0.0024	0.0052	0.0029	0.044	—	0.0029	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.19	1.691	比較例	
M	0.0021	3.27	0.036	0.14	0.0057	0.0015	0.0021	—	0.030	0.0027	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	2.21	1.690	比較例	
N	0.0017	3.33	0.028	0.03	0.0017	0.0024	0.0017	0.037	—	0.0028	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	2.16	1.694	比較例	
O	0.0019	3.30	0.022	0.05	0.0016	0.0011	0.0025	0.035	—	0.0031	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	2.08	1.702	發明例	
P	0.0020	3.30	0.028	0.16	0.0018	0.0003	0.0019	0.036	—	0.0029	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	1.94	1.719	發明例	
Q	0.0018	3.28	0.038	0.22	0.0022	0.0031	0.0018	0.035	—	0.0034	冷間軋過程中發生裂隙						—	—	比較例

[0052] 接下來，針對於以上述方式所製得的熱軋板以及最終精製退火後的鋼板之與軋軋方向形成直角的斷面，使用掃描型電子顯微鏡（SEM）進行觀察，就 30 個氧化物系夾雜物的組成分進行分析，求出平均值，計算出 CaO 的組成比率以及 Al_2O_3 的組成比率。

又，從上述製品板的軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C）裁切出愛波斯坦測試片，依據日本工業規格 JIS C2552，測定了磁通密度 B_{50} （磁化力為 5000A/m 時的磁通密度）及鐵損 $W_{1.5/50}$ （以磁通密度為 1.5T、頻率為 50Hz 的條件進行激磁時的鐵損）。

[0053] 將上述測定結果一起標示於表 1。由這個結果可得知：符合本發明的條件的鋼板，可以防止在軋軋時的斷裂，而且可以維持高磁通密度達到磁通密度 B_{50} 為 1.70T 以上的程度，具有優異的磁力特性。

[實施例 2]

[0054] 熔製出具有如表 2 所示的不同組成分的 R~U 的鋼，利用連續鑄造來製作成鋼胚。此外，在進行上述鋼的熔製時，雖然是使用 Si 當作脫氧劑，但是在鋼 S 中，脫氧劑係除了 Si 之外，也使用了 Al。又，使用 CaSi 作為 Ca 來源，這些脫氧劑或 CaSi 的量，是配合鋼中的 N 或 S 含量來做調整。

接下來，將上述鋼胚，予以再加熱到達 1050~1110°C 的溫度之後，進行熱間軋軋而製作成板厚為 1.6mm 的熱

軋板，以連續退火的方式，實施了均熱溫度為 1000℃ 的熱軋板退火之後，進行冷間軋軋而製作成最終板厚為 0.15mm 的冷軋板，然後，以均熱溫度為 1000℃ 的條件來進行最終精製退火，然後披覆了絕緣披膜，製作成無方向性電磁鋼板（製品板）。

[0055]

[表2]

鋼符號	化學成分 (質量%)										氧化物系夾雜物的組成比率						製品板的磁力特性		備考
	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N	Sn	Sb	Ca	CaO/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +CaO)		Al ₂ O ₃ /(SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +CaO)		鐵損 W ₁₀₀₀ (W/kg)	磁通密度 B ₅₀ (T)			
											熱軋板	製品板	熱軋板	製品板					
R	0.0017	3.36	0.024	0.08	0.0016	0.0008	0.0017	0.038	—	0.0032	0.5	0.5	0.1	0.1	24.7	1.692	發明例		
S	0.0019	3.38	0.025	0.07	0.0016	0.0015	0.0016	0.039	—	0.0017	0.3	0.3	0.4	0.4	24.8	1.691	發明例		
T	0.0018	3.37	0.024	0.08	0.0018	0.0005	0.0019	0.039	—	0.0018	0.3	0.3	0.2	0.2	26.1	1.673	比較例		
U	0.0017	3.37	0.025	0.01	0.0017	0.0006	0.0017	0.039	—	0.0001	0.0	0.0	0.2	0.2	27.8	1.654	比較例		

[0056] 接下來，針對於以上述方式所製得的熱軋板以及最終精製退火板之與軋軋方向形成直角的斷面，使用掃描型電子顯微鏡（SEM）進行觀察，就 30 個氧化物系夾雜物的組成分進行分析，求出平均值，計算出 CaO 的組成比率以及 Al₂O₃ 的組成比率。

又，從上述製品板的軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C）裁切出愛波斯坦測試片，依據日本工業規格 JIS C2552，測定了磁通密度 B₅₀（磁化力為 5000A/m 時的磁通密度）及鐵損 W_{10/800}（以磁通密度為 1.0T、頻率為 800Hz 的條件來進行激磁時的鐵損）。

[0057] 將上述測定的結果一起標記於表 2。從這個結果可知：符合本發明的條件的鋼板，可以防止在軋軋時的斷裂，而且既可維持磁通密度 B₅₀ 為 1.69T 以上的高磁通密度，又可將鐵損 W_{10/800} 減少成 25W/kg 以下，不僅是在商用頻率波段，即使是在高頻率波段中，也具有優異的磁力特性。

[產業上的可利用性]

[0058] 根據本發明，除了能夠以低價且高生產性地製造高磁通密度材之外，因為是具有可減少馬達的銅損之效果，因此能夠有利地適用於：感應式馬達用的鐵心，而這種鐵心是具有銅損高於鐵損的傾向。

申請專利範圍

1. 一種無方向性電磁鋼板，其組成分，是含有 C：0.0050 質量%以下、Si：超過 1.5 質量%且 5.0 質量%以下、Mn：0.10 質量%以下、sol.Al：0.0050 質量%以下、P：超過 0.040 質量%且 0.2 質量%以下、S：0.0050 質量%以下、N：0.0040 質量%以下、以及 Ca：0.001~0.01 質量%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成，

存在於鋼板中的氧化物系夾雜物中之根據下列 (1) 式所定義的 CaO 的組成比率為 0.4 以上、及/或根據下列 (2) 式所定義的 Al₂O₃ 的組成比率為 0.3 以上，

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (1) \text{式},$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \quad \dots (2) \text{式}。$$

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的無方向性電磁鋼板，其係在上述組成分之外，又含有：從 Sn 以及 Sb 之中所選出的 1 種或 2 種，含量分別為 0.01~0.1 質量%。

3. 一種熱軋鋼板，其係作為如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的無方向性電磁鋼板的素材，其組成分，是含有 C：0.0050 質量%以下、Si：超過 1.5 質量%且 5.0 質量%以下、Mn：0.10 質量%以下、sol.Al：0.0050 質量%以下、P：超過 0.040 質量%且 0.2 質量%以下、S：0.0050 質量%以下、N：0.0040 質量%以下、以及 Ca：0.001~0.01 質量%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成，

存在於鋼板中的氧化物系夾雜物中之根據下列 (1)

式所定義的 CaO 的組成比率為 0.4 以上、及/或根據下列

(2) 式所定義的 Al_2O_3 的組成比率為 0.3 以上，

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \cdots (1) \text{式},$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \cdots (2) \text{式}。$$

4. 如申請專利範圍第 3 項所述的熱軋鋼板，其係在上述組成分之外，又含有：從 Sn 以及 Sb 之中所選出的 1 種或 2 種，含量分別為 0.01~0.1 質量%。

圖式

圖 1

