



(21)申請案號：103128445 (22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 19 日
 (51)Int. Cl. : C22C38/02 (2006.01) H01F1/16 (2006.01)
 (30)優先權：2013/08/20 日本 2013-170162
 (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)；戸田広朗 TODA, HIROAKI (JP)
 (74)代理人：林志剛
 (56)參考文獻：
 TW 200641143A JP 2010-248559A
 審查人員：梁一凡
 申請專利範圍項數：6 項 圖式數：5 共 31 頁

(54)名稱

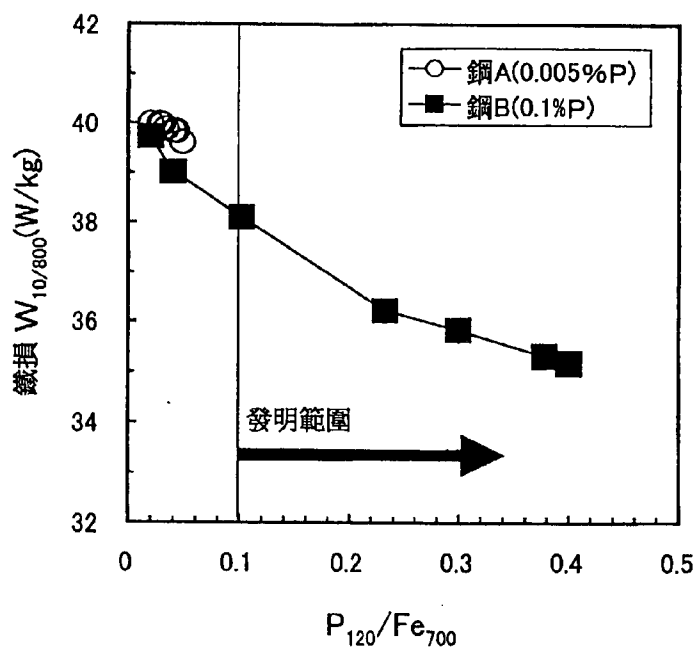
高磁通密度無方向性電磁鋼板以及馬達

(57)摘要

本發明提供：以質量%計，含有 C：0.010%以下、Si：1.0~7.0%、Mn：0.001~3.0%、sol.Al：0.0001~3.5%、P：0.01~0.2%、S：0.010%以下、N：0.010%以下，將粒界斷裂面利用奧杰(Auger)電子能譜分光法進行分析所獲得的奧杰微分光譜之在於電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值(peak-peak)高度 P_{120} ，相對於在電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值(peak-peak)高度 Fe_{700} 的比值 (P_{120}/Fe_{700})是 0.1 以上，而且板厚為 0.10~0.50mm 的無方向性電磁鋼板，以及在鐵心使用該無方向性電磁鋼板的馬達。

指定代表圖：

第 5 圖



發明摘要

※申請案號：103128445

※申請日：103年08月19日

※IPC分類：

C22C 38/02 (2006.01)
H01F 1/16 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

高磁通密度無方向性電磁鋼板以及馬達

【中文】

本發明提供：以質量%計，含有 C：0.010%以下、Si：1.0~7.0%、Mn：0.001~3.0%、sol.Al：0.0001~3.5%、P：0.01~0.2%、S：0.010%以下、N：0.010%以下，將粒界斷裂面利用奧杰(Auger)電子能譜分光法進行分析所獲得的奧杰微分光譜之在於電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值(peak-peak)高度 P_{120} ，相對於在電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值(peak-peak)高度 Fe_{700} 的比值(P_{120}/Fe_{700})是 0.1 以上，而且板厚為 0.10~0.50mm 的無方向性電磁鋼板，以及在鐵心使用該無方向性電磁鋼板的馬達。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(5)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

(本申請書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

高磁通密度無方向性電磁鋼板以及馬達

【技術領域】

[0001] 本發明係關於：主要是被使用在電動汽車或油電混合車等的驅動馬達或發電馬達的鐵心材料之在高頻波段時的鐵損特性優異的高磁通密度無方向性電磁鋼板、以及在鐵心使用該鋼板的馬達。

【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，這些汽車所使用的驅動用馬達或發電機用馬達，基於其必須設置在車輛內之受限的空間的理由、以及必須減輕車輛重量的理由，乃期望能夠小型化。因此，為了將馬達予以小型化，利用馬達的驅動電源的頻率控制來達成的可變速運轉的馬達、利用較之一般商用頻率更高的高頻波段來進行高速旋轉的馬達也在增加中。其結果，對於驅動馬達和發電馬達，係被強烈地要求高輸出化以及在高頻波段時的高效率化，才能夠達到即使做成小型化也能夠發揮充分的性能。

[0003] 基於這種背景，針對於使用於馬達的鐵心的無方向性電磁鋼板，為了達成馬達的高輸出化以及在高頻

波段時的高效率化，乃強烈地要求該電磁鋼板的磁通密度很高且在高頻波段時的鐵損很低。

[0004] 作為用來降低無方向性電磁鋼板在高頻波段時的鐵損的方法，降低渦電流損失的做法是有效的，一般是採用例如：提高 Si、Al 及 Mn 之類的可提升固有電阻的元素的添加量之方法、或者將鋼板的板厚製作成較薄的方法。然而，若採用增加了可提昇固有電阻的元素的添加量的方法的話，飽和磁通密度將會降低，另一方面，若採用將板厚製作成較薄的方法的話，會有容易產生對於磁力特性不利的結晶方位（集合組織）的傾向，因此，無法避免會導致磁通密度的降低，換言之，很難以達到既不會降低磁通密度，又可以減少在高頻波段時的鐵損的效果。

[0005] 另一方面，已經有好幾種的提案，是針對於提高無方向性電磁鋼板的磁通密度的方法。例如：專利文獻 1 所揭示的技術方案，是將 P 含量設定為 0.07~0.20 質量%，將 Si 含量設定為 0.17~3.0 質量%，將熱軋鋼板退火是採用冷卻速度較慢的裝箱退火來實施，以控制最終精製退火時的集合組織，藉此，來謀求高磁通密度化的技術。但是，若將這種方法應用在實際生產的話，卻在軋軋工序時，容易產生鋼板斷裂等的問題，而有必須將製造生產線停止下來，以及降低生產良率之類的問題存在。此外，熱軋鋼板退火若是採用裝箱退火的話，與連續退火相較，也會有增加製造成本的問題。

[0006] 又，專利文獻 2 所揭示的技術方案，係將含

有 Si：1.5~4.0 質量%以及 Mn：0.005~11.5 質量%的鋼素材的 Al 含量設定在 0.017 質量%以下，以資謀求高磁通密度化的技術。但是，這種方法，是採用在室溫下的 1 次冷間輥軋法，因此，無法獲得充分的提高磁通密度的效果。針對於這一點，只要將上述的冷間輥軋，改成將板溫加熱到達 200℃ 程度之後才來進行溫間輥軋的話，雖然可謀求提高磁通密度，但是卻又衍生出：必須設置用以進行溫間輥軋的設備來加以對應以及必須做嚴格的工序管理之類的問題。此外，雖然也是可以採用：中間包含有實施中間退火在內的 2 次以上的冷間輥軋法，但是卻會有增加製造成本的問題。

[0007] 又，專利文獻 3 所揭示的技術方案，是在以重量%計，含有 C：0.02%以下、Si 或 Si+Al：4.0%以下、Mn：1.0%以下、P：0.2%以下的鋼胚料中，添加 Sb 或 Sn，藉此來謀求高磁通密度化的技術。

〔先前技術文獻〕

〔專利文獻〕

[0008]

[專利文獻 1] 日本特許 3870893 號公報

[專利文獻 2] 日本特許 4126479 號公報

[專利文獻 3] 日本特許 2500033 號公報

【發明內容】

〔發明所欲解決的技術課題〕

[0009] 如上所述，上述的習知技術，是很難以低價而且生產性良好的製造出：具有高磁通密度且在高頻波段時的鐵損特性優異的無方向性電磁鋼板。

本發明是有鑒於習知技術的上述問題點而開發完成的，其目的是要能夠穩定且低價地提供：具有高磁通密度且在高頻波段時的鐵損特性優異的無方向性電磁鋼板、以及將該鋼板用於鐵心的馬達。

[用來解決課題的技術方案]

[0010] 本發明人等，為了解決上述課題，乃著眼於：無方向性電磁鋼板的結晶粒界的性狀帶給磁力特性的影響，不斷努力地進行研究。其結果，找到了一種創見，就是：提高存在於結晶界上的 P (磷) 的量的作法，並不會導致磁通密度的降低，但是對於降低在高頻波段時的鐵損卻是很有效的。本發明就是依據上述的新穎創見。

[0011] 亦即，本發明的無方向性電磁鋼板，其組成分是含有：C：0.010 質量%以下、Si：1.0~7.0 質量%、Mn：0.001~3.0 質量%、sol.Al：0.0001~3.5 質量%、P：0.01~0.2 質量%、S：0.010 質量%以下、N：0.010 質量%以下，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成的，

將粒界斷裂面利用奧杰 (Auger) 電子能譜分光法進行分析所獲得的奧杰微分光譜之在於電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值 (peak-peak) 高度 P_{120} ，相對於在電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值 (peak-peak) 高度 Fe_{700} 的

比值(P_{120}/Fe_{700})是 0.1 以上，而且板厚為 0.10~0.50mm。

[0012] 本發明的無方向性電磁鋼板的特徵為：在上述組成成分中的 sol.Al 是 0.0001~0.01 質量%。

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

[0014] 又，本發明的無方向性電磁鋼板的特徵為：除了上述組成成分之外，又含有從 Ca、REM（稀土金屬）以及 Mg 之中所選出的 1 種或 2 種以上，其含量分別為 0.001~0.05 質量%。

[0015] 又，本發明的無方向性電磁鋼板的特徵為：除了上述組成成分之外，又含有從 Ni、Cu 以及 Cr 之中所選出的 1 種或 2 種以上，其含量分別為 0.01~0.5 質量%。

[0016] 此外，本發明的馬達，是將上述本發明的任一種無方向性電磁鋼板使用於鐵心。

〔發明之效果〕

[0017] 根據本發明，係可以良好的生產性且低價地提供：具有高磁通密度且在高頻波段時的鐵損特性優異的無方向性電磁鋼板。

【圖式簡單說明】

[0018]

第 1 圖是用來說明奧杰微分光譜的 Fe 及 P 的峰值-峰

值 (peak-peak) 高度 (Fe_{700} 、 P_{120}) 的說明圖。

第 2 圖是顯示最終精製退火後熱處理的處理時間與鐵損 $W_{10/800}$ 的關係之圖表。

第 3 圖是顯示最終精製退火後熱處理的處理時間與磁通密度 B_{50} 的關係之圖表。

第 4 圖是顯示最終精製退火後熱處理的處理時間與 P_{120}/Fe_{700} 的關係之圖表。

第 5 圖是顯示 P_{120}/Fe_{700} 與鐵損 $W_{10/800}$ 的關係之圖表。

【實施方式】

[0019] 本發明人等，是認為如果是像習知技術這樣地，只是改善鋼板的化學組成分、以及至最終精製退火工序為止的工序條件的話，是難以既維持高磁通密度，又可降低在高頻波段時的鐵損，乃就對於最終精製退火板附加上新的熱處理的作法進行了檢討。但是，也考慮到：如果附加上新的工序的話，製造成本將會上昇，因此，乃著眼於：在用戶這一邊，通常都會對於無方向性電磁鋼板實施的弛力退火，於是就針對於：如果改變弛力退火條件的話是否可以改善磁力特性來進行了檢討。此外，在無方向性電磁鋼板的製造工序中的最終精製退火，雖然是以 $1000^{\circ}C$ 程度的溫度，並且是以 10 秒程度的均熱時間來進行處理，但是，上述弛力退火，一般都是以 $750^{\circ}C$ 程度的溫度，以 2 小時程度的均熱時間來進行處理的。

[0020] 然而，用來決定無方向性電磁鋼板的磁力特性的重要因素之一，是結晶粒徑，如果結晶粒徑大的話，渦電流損失會增加，磁滯損失則會降低，相反地，如果結晶粒徑小的話，渦電流損失會減少，磁滯損失則有增加的傾向。因此，就無方向性電磁鋼板而言，通常是會存在著適正的結晶粒徑。

[0021] 此外，上述結晶粒徑的大小，亦可改說成是：結晶粒界的密度，結晶粒界密度小（結晶粒徑大）的話，渦電流損失會增加，磁滯損失會降低，相反地，結晶粒界密度大（結晶粒徑小）的話，渦電流損失將會減少，磁滯損失則會增加。因此，在無方向性電磁鋼板中係存在著：適正的結晶粒界密度，結晶粒界密度可以說是用來決定鋼板的磁力特性的重要因素。

[0022] 然而，本發明人等，針對於上述的「結晶粒界密度」，並不是著眼「密度」，而是著眼於「結晶粒界」這一邊，想像：是否可藉由控制那一種的因素來改變結晶粒界所具有的性狀，因而可以提昇磁力特性呢？

然後，乃著眼於 P（磷），來作為可改變上述結晶粒界的性狀的因素。其理由是認為：因為 P（磷）是會引起粒界脆化的元素，如果偏析在粒界的話，將會對於粒界的性質帶來某種程度的變化，而且，係如專利文獻 1 中所揭示的這樣，如果是連續退火的話，P 不會偏析在粒界，只有利用裝箱退火的話，才會偏析在粒界，因此認為：P 的偏析是可受到控制的緣故。

[0023] 因此，發明人等，執行了以下的實驗。

針對於含有 C：0.002 質量%、Si：3 質量%、Mn：0.5 質量%、S：0.002 質量%、sol.Al：1 質量%、N：0.002 質量%以及 Sn：0.03 質量%的鋼中，製造出將 P 含量改變成 0.005 質量%（鋼 A）以及 0.1 質量%（鋼 B）之兩種水準的鋼胚料，再加熱到 1100°C 之後，進行熱間軋軋而製作成板厚為 2.0mm 的熱軋鋼板，實施了 1000°C × 30 秒的熱軋鋼板退火之後，進行酸洗、冷間軋軋而製作成板厚為 0.30mm 的冷軋鋼板。

[0024] 再從根據這種方式製得的冷軋鋼板，由軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C）裁切出：愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，以 1050°C 的溫度，實施了最終精製退火。此處，為什麼會在實施最終精製退火之前，進行裁切出愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，其原因是想要利用最終精製退火，來去除剪力變形。當然，如果是進行大量生產的實際生產的話，通常並不會這麼做。

[0025] 接下來，針對於上述最終精製退火後的試料，以 700°C 的溫度，實施：保持 30 分鐘、1 小時、5 小時、10 小時、50 小時以及 100 小時的熱處理（以下，將這種熱處理也稱為「最終精製退火後熱處理」）之後，進行測定磁力特性。此外，上述磁力特性的測定，是依據日本工業規格 JIS C2552 測定了：磁通密度 B_{50} （磁化力為 5000A/m 時的磁通密度）、以及鐵損 $W_{10/800}$ （以磁通密度為 1.0T、頻率為 800Hz 的條件進行激磁時的鐵損）。

[0026] 又，將磁力測定後的試料，利用液態氮予以冷卻到達 -150°C 以下之後，在真空中予以斷裂，使用奧杰電子能譜分光法 (AES)，分析了存在於粒界斷裂後的粒界面上的 P 的偏析量。此外，粒界面上的 P 量，係根據第 1 圖所示的奧杰微分光譜中的：在電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值 (peak-peak) 高度 P_{120} 之相對於在電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值 (peak-peak) 高度 Fe_{700} 的比值 (P_{120}/Fe_{700})，來做定量的評比。此處，上述的奧杰微分光譜，係指：將奧杰光譜予以微分之後的光譜，在奧杰電子能譜分光法中，大多是使用微分光譜來進行評比。

[0027] 第 2 圖以及第 3 圖分別是顯示以 700°C 做最終精製退火後熱處理的處理時間，對於鐵損 $W_{10/800}$ 以及磁通密度 B_{50} 所造成的影響。由這兩個圖可以得知：P 含量為 0.1 質量%的鋼 B，若最終精製退火後熱處理的處理時間加長的話，鐵損 $W_{10/800}$ 雖然會降低，但是磁通密度 B_{50} 則是沒有變化，也就是說，既不會使磁通密度 B_{50} 惡化，卻是可以降低鐵損 $W_{10/800}$ 。

[0028] 又，第 4 圖是顯示以 700°C 做最終精製退火後熱處理的處理時間之對於 P_{120}/Fe_{700} 所造成的影響。由這個圖可以得知：P 含量為 0.1 質量%的鋼 B，若最終精製退火後熱處理的處理時間加長的話， P_{120}/Fe_{700} 也會增加，亦即，鋼 B 係可藉由增加最終精製退火後熱處理的處理時間，在粒界面上的，亦即，偏析在粒界的 P 的量將會大幅增加。

[0029] 此外，第 5 圖係顯示 P_{120}/Fe_{700} 對於鐵損 $W_{10/800}$ 所造成的影響。由這個圖可以得知：若 P_{120}/Fe_{700} 增加的話， $W_{10/800}$ 將會降低，亦即，藉由增加偏析在粒界的 P 的量，可以降低鐵損 $W_{10/800}$ 。

[0030] 這個原因雖然還不是非常的清楚，但是被認為是下列的原因。

被認為是：如上所述，P 是粒界脆化元素，因為 P 的粒界偏析，粒界將會有某些性狀發生變化，磁區構造或者在粒界的電阻發生變化的結果，磁力特性受到了改善。例如被認為是：P 的粒界偏析，將使得粒界的強度，亦即使得粒界的金屬結合變弱，因此將會妨礙粒界的自由電子的移動。

本發明乃是依據上述的這種新穎創見而開發完成的。

[0031] 接下來，說明本發明的無方向性電磁鋼板（製品板）的組成分。

C：0.010 質量%以下

C 是會引起磁力時效而使鐵損增加的元素，因此最好是將其極力地降低。尤其是 C 若超過 0.010 質量%的話，鐵損的增加將會趨於顯著，因此乃將上限選定為 0.010 質量%。更好是 0.0030 質量%以下。此外，針對於下限，是愈少愈好，因此並未特別規定。

[0032]

Si：1.0~7.0 質量%

Si，一般是被當作脫氧劑來進行添加，但是在電磁鋼板中，是用來提高鋼的固有電阻，降低鐵損之有效的重要元素，因此在本發明中，必須添加為 1.0 質量%以上。較好是 1.5 質量%以上，更好是 2.0 質量%以上，更優是 3.0 質量%以上。另一方面，Si 若添加超過 7.0 質量%的話，不僅是磁通密度也會降低，在冷間軋軋中會產生龜裂而使得製造性變差，因此將上限選定在 7.0 質量%。更好是 4.5 質量%以下。

[0033]

Mn：0.001~3.0 質量%

Mn 係可改善鋼的熱間加工性，具有防止發生表面瑕疵的效果。此外，雖然沒有像 Si 或 Al 的這種程度，但是卻具有可提高固有電阻而降低鐵損的效果。想要獲得這種效果，必須添加達到 0.001 質量%以上。另一方面，Mn 的添加量過多的話，原料成本將變高，因此將上限選定為 3.0 質量%。更好是在 2.5 質量%以下。

[0034]

P：0.01~0.2 質量%

如前所述，P 係具有：可藉由偏析在粒界，而既不會降低磁通密度又可降低在高頻波段時的鐵損之效果的元素。想要獲得這種效果，必須含量達到 0.01 質量%以上。此外，P 也具有可改善集合組織，提昇磁通密度的效果，想要獲得這種效果，P 的含量也必須是 0.01 質量%以上。更好是 0.02 質量%以上。但是，P 的過剩的添加，將會導

致軋軋性的變差，因此將上限選定為 0.2 質量%。更好是 0.1 質量%以下。

[0035]

S：0.010 質量%以下

S 是可形成析出物或夾雜物，導致製品的磁力特性惡化，因此愈少愈好，在本發明中，是將上限選定為 0.010 質量%。更好是在 0.005 質量%以下。此外，針對於 S 的下限，因為是愈少愈好，所以並未特別規定。

[0036]

sol.Al：0.0001~3.5 質量%

Al 是與 Si 同樣地，一般是被當成鋼的脫氧劑來添加的，但是在電磁鋼板中，則是可提昇鋼的固有電阻，降低在高頻波段時的鐵損之有效的元素。但是，Al 含量降低的話，係可改善最終精製退火板的集合組織而可提昇磁通密度。因此，在本發明中，只要考慮到所需的鐵損與磁通密度之兩者的平衡性，來適正地決定 Al 的添加量即可。然而，若超過 3.5 質量%的話，鋼會脆化，因此將上限值選定在以 sol.Al（酸可溶 Al）來換算，是 3.5 質量%。更好是 2.0 質量%以下。另一方面，針對於 Al 的下限值，以 sol.Al 來換算，若想要降低到達未滿 0.0001 質量%的話，必須做到防止 Al 從澆桶或餵槽混入，必須將澆桶或餵槽進行洗淨，將會增大成本，因此，將下限值以 sol.Al 來換算，是選定在 0.0001 質量%。

[0037] 此外，若 Al 為 0.01 質量%以下的話，P 將會

有很容易在粒界偏析的傾向，可更提昇磁通密度，所以 Al 是在 0.01 質量%以下為佳。其理由雖然還不是很清楚，但是，可做以下的推測。如果 Al 含量高的話，作為雜質混入的幾乎所有的 N 都會變成 AlN 而析出，作為雜質混入的 Ti、Zr 等，係具有變成 (Fe, Ti)P、(Fe, Zr)P 來析出的傾向，因此，被認為：這些部分，將會導致減少 P 的粒界偏析的效果。另一方面，Al 含量低的話，作為雜質混入的 Ti、Zr 等，將會與作為雜質混入的 N 進行結合，變成不含有 P 的氮化物來析出，所以 P 就很難析出，變成很容易粒界偏析。更好的含量是 0.002 質量%以下。

[0038]

N：0.010 質量%以下

N 是與前述的 C 同樣地，是會使磁力特性惡化的元素，因此將其限制在 0.010 質量%以下。更好是 0.005 質量%以下。此外，針對於 N 的下限，是愈少愈好，因此並未特別規定。

[0039] 本發明的無方向性電磁鋼板，除了上述必須成分之外，又基於提昇磁力特性等之目的，亦可適度地添加下列的成分。

Sn, Sb：0.01~0.1 質量%

Sn 以及 Sb 都是可以改善集合組織或具有抑制退火時的氮化而提高磁力特性的效果之元素，因此可做單獨或複合添加。想要獲得這種效果，Sb, Sn 分別做 0.01 質量%

以上的添加為宜。另一方面，若過剩添加的話，鋼將會脆化，在鋼板製造中係有發生鋼板破裂或鱗片之類的表面瑕疵，Sn，Sb 的上限分別選定在 0.1 質量%為宜。更好是分別在 0.02~0.08 質量%的範圍。

[0040]

Ca，Mg，REM（稀土金屬）：0.001~0.05 質量%

Ca，Mg 以及 REM（稀土金屬），在高溫時將會生成較之 MnS 或 Cu₂S 更穩定的硫化物，是具有提昇磁力特性的效果的元素，因此，亦可含有這些元素的 1 種或 2 種以上。想要獲得上述效果，Ca，Mg 以及 REM（稀土金屬）是分別做 0.001 質量%以上的添加為宜。另一方面，過剩含有的話，其效果趨於飽和，不利於經濟性，因此，其上限是分別選定在 0.05 質量%為宜。更好是分別選定在 0.002~0.01 質量%的範圍。

[0041]

Cu，Ni，Cr：0.01~0.5 質量%

Cu，Ni 以及 Cr 是提昇鋼板的電阻率來使鐵損降低之有效的元素，因此，亦可含有這些元素的 1 種或 2 種以上。想要獲得上述效果，是分別做 0.01 質量%以上的添加為宜。另一方面，這些元素都是較之 Si 和 Al 更高價，因此各自的添加量都選定在 0.5 質量%以下為宜。更好是分別在 0.03~0.1 質量%的範圍。

[0042] 此外，本發明的無方向性電磁鋼板，上述成分以外的其餘部分，是 Fe 以及不可避的雜質。但是，只

要是在不妨礙本發明的作用效果的範圍內的話，也不排斥可以含有其他的元素。

[0043] 接下來，說明本發明的無方向性電磁鋼板的粒界的性狀。

本發明的無方向性電磁鋼板，在最終精製退火後或弛力退火後，必須將位於粒界之 P 的偏析量，予以設定在某一預定量以上。亦即，將最終精製退火後或弛力退火後的鋼板的粒界斷裂面，利用奧杰電子能譜分光法（AES）進行分析，所獲得的奧杰微分光譜之位於電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值(peak-peak)高度 P_{120} 之相對於位於電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值(peak-peak)高度 Fe_{700} 的比值(P_{120}/Fe_{700})，必須是 0.1 以上。因為藉由將存在於粒界面上的 P 量，提昇到達上述的範圍，不會使磁通密度惡化，又可降低在高頻波段時的鐵損。

[0044] 想要將對於粒界面之 P 的偏析量提昇到達上述的範圍，係可採用例如：使用裝箱退火（整批退火）來將最終精製退火，以 700~800°C 程度的溫度，做長時間的保持，或者，將弛力退火，以 700~800°C 程度的溫度，做長時間的保持，都是有效的技術方案。此外，上述的退火條件，尤其是保持時間，雖然是隨著鋼中的 P 含量而改變，但還是根據預先的實驗，預先找出可以獲得 $P_{120}/Fe_{700} \geq 0.1$ 的條件為佳。

[0045] 接下來，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，係可採用：應用在一般的無方向性電磁鋼板的製造設備以及一般的製造工序來進行製造。亦即，本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法，首先是將利用轉爐或電爐等所熔製的鋼，利用真空脫氣處理設備等，進行二次精煉，調製成預定的組成分之後，利用連續鑄造法或造塊-分塊軋軋法，製作成鋼素材（胚料）。

[0046] 以上述方式製得的鋼胚料，之後又進行熱間軋軋，因應必要來進行熱軋鋼板退火，酸洗，冷間軋軋，最終精製退火，進而又實施絕緣披覆膜的塗敷和燒結，藉此而製作成無方向性電磁鋼板（製品板）。這些的各工序的製造條件，即使是與一般的無方向性電磁鋼板的製造條件相同也無妨，但是，若是設定在下列的範圍更好。

[0047] 首先，熱間軋軋後的板厚，雖然並未特別限制，但是基於確保生產性的觀點考量，予以選定在 1.4~2.8mm 的範圍為宜，選定在 1.6~2.3mm 的範圍更好。

接下來的熱軋鋼板退火的均熱溫度，予以選定在 900~1150℃ 的範圍為宜。因為如果均熱溫度未達 900℃ 的話，軋軋組織將會殘留下來而無法充分地獲得磁力特性的改善效果，另一方面，如果超過 1150℃ 的話，結晶粒會變粗大化，在冷間軋軋時，不僅是容易發生裂開，在經濟面上也比較不利。

[0048] 熱軋後或者熱軋板退火後的熱軋鋼板，之後又實施 1 次或包含中間退火在內的 2 次以上的冷間軋軋，

而製作成最終板厚。此時，如果採用先將板溫提高到 200℃ 程度才進行輓軋之溫間輓軋的話，可有效地提昇磁通密度。

[0049] 冷間輓軋後的冷軋鋼板的厚度（最終板厚）是設定在 0.10~0.50mm 的範圍。因為如果厚度未達 0.10 mm 的話，生產性會變差，另一方面，如果超過 0.50mm 的話，無法充分地降低鐵損。基於降低鐵損的觀點考量，更好是在 0.30mm 以下，更優是在 0.20mm 以下。

[0050] 實施冷間輓軋而製作成最終板厚的冷軋鋼板，接下來，又實施最終精製退火。這個時候，如果是利用連續退火爐來實施最終精製退火的情況下，是以 900~1150℃ 的溫度，實施 5~60 秒的均熱處理為宜。因為如果退火的均熱溫度未達 900℃ 的話，再結晶無法充分地進行，無法獲得良好的磁力特性，不僅如此，也無法充分地發揮因實施連續退火所帶來的對於板形狀的矯正效果。另一方面，如果超過 1150℃ 的話，結晶粒將會粗大化，尤其是在高頻波段時的鐵損會增加。

[0051] 此外，如果是以連續退火來實施最終精製退火的話，會有 P 無法充分地偏析在粒界的情事，因此，將前述的最終精製退火後熱處理，是以 700~800℃ 程度的溫度，保持 2 小時以上為宜，保持超過 5 小時更好。

[0052] 另一方面，如果是以箱型退火爐來實施最終精製退火的話，因為將使 P 偏析在粒界，因此是以 700~800℃ 的溫度，實施 1~10 小時的均熱處理為宜。尤其是當

鋼板用戶並不實施弛力退火的情況下，是以箱型退火爐來實施最終精製退火為宜。

[0053] 上述最終精製退火後的鋼板，之後為了降低鐵損，是在鋼板的表面施作絕緣披覆膜為宜。這個時候，為了確保良好的衝孔性，是以塗敷含有樹脂的有機披覆膜為宜，另一方面，如果是重視焊接性的話，是以塗敷半有機披覆膜或無機披覆膜為宜。

[0054] 以上述的方式所製造的本發明的無方向性電磁鋼板，即使不實施弛力退火就使用，或者，實施過弛力退火之後才使用皆可。此外，亦可在經過衝孔工序之後，實施了弛力退火才使用。

[0055] 如上所述，本發明的無方向性電磁鋼板，係具有高磁通密度，並且在高頻波段時的鐵損特性也優異，因此可藉由將這種鋼板當作油電混合車或電動車的驅動馬達、發電馬達的鐵心材料來使用，而可達成馬達的高輸出化以及在高頻波段時的高效率化。此外，亦可在上述馬達的鐵心內，埋入磁鐵來使用。

[實施例]

[0056] 首先，熔製出具有表 1 所示的各種組成分之 a~r 的鋼，進行連續鑄造而製作成鋼胚料。此時的鋼胚料的組成分，為了要更為容易進行鐵損的比較，是調製成：由 Si、Al 以及 Mn 的含量（質量%）所求得的（ $Si+Al+Mn/2$ ）的數值是趨於同等程度。接下來，將上述鋼胚料再

加熱到達 1020~1120°C 的溫度之後，進行熱間軋軋而製成板厚為 2.0mm 的熱軋鋼板，再以連續退火，實施了 1000°C × 30 秒的熱軋鋼板退火之後，進行冷間軋軋而製成板厚為 0.15mm 的冷軋鋼板（冷軋鋼帶捲）。又，從上述冷軋鋼帶捲，沿著軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C）裁切出愛波斯坦測試片尺寸大小的試料。

[0057]

[表1]

鋼符號	化學成分（質量 %）							
	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N	其他成分
a	0.0018	2.5	0.50	0.05	0.0018	0.60	0.0020	—
b	0.0019	2.5	0.50	0.12	0.0017	0.60	0.0018	Sn:0.04
c	0.0019	2.5	0.50	0.08	0.0018	0.60	0.0017	Sb:0.04
d	0.0017	2.5	0.50	0.09	0.0017	0.60	0.0019	Ca:0.003
e	0.0017	2.5	0.50	0.09	0.0019	0.60	0.0018	Mg:0.001
f	0.0019	2.5	0.50	0.10	0.0016	0.60	0.0019	REM:0.003
g	0.0018	2.5	0.50	0.09	0.0019	0.60	0.0020	Ni:0.1
h	0.0018	2.5	0.50	0.08	0.0018	0.60	0.0018	Cu:0.1
i	0.0020	2.5	0.50	0.08	0.0017	0.60	0.0019	Cr:0.1
j	0.0018	3.3	0.05	0.03	0.0017	0.0005	0.0018	—
k	0.0019	3.3	0.05	0.10	0.0019	0.0001	0.0019	Sn:0.03
l	0.0020	3.3	0.06	0.07	0.0021	0.0009	0.0018	Sb:0.03
m	0.0020	3.3	0.06	0.07	0.0018	0.0008	0.0020	Ca:0.003
n	0.0019	3.3	0.04	0.08	0.0018	0.0015	0.0016	Mg:0.001
o	0.0018	3.3	0.05	0.09	0.0019	0.0008	0.0018	REM:0.003
p	0.0017	3.3	0.07	0.08	0.0018	0.0007	0.0017	Ni:0.1
q	0.0018	3.3	0.05	0.06	0.0019	0.0008	0.0018	Cu:0.1
r	0.0018	3.3	0.04	0.06	0.0020	0.0002	0.0015	Cr:0.1

[0058] 接下來，針對於上述冷軋鋼帶捲，實施了以

1100°C × 10 秒作為均熱條件的最終精製退火之後，進行披覆絕緣披覆膜而製作成無方向性電磁鋼板（製品鋼帶捲），並且針對於從上述冷軋鋼帶捲採取的愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，也實施了與上述最終精製退火相同的熱處理，並且披覆了絕緣披覆膜（以下，將這個稱為「A 群試料」）。此外，此時的愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，已經被去除了因剪斷加工所導致的變形。

接下來，從上述最終精製退火後的製品鋼帶捲，沿著軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C），裁切出愛波斯坦測試片尺寸大小的試料（以下將這個稱為「B 群試料」）。此外，此時的愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，還保留著因剪斷加工所導致的變形，磁力特性係呈惡化。

最後，針對於上述 A 群試料以及 B 群試料之愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，實施了兼作為弛力退火之 750°C × 5 小時的最終精製退火後熱處理。並且將針對於上述 A 群試料以及 B 群試料實施了最終精製退火後熱處理的試料，分別稱為「A'群試料」、「B'群試料」。

[0059] 針對於以上述方式所製得的 A 群試料、A'群試料、B 群試料及 B'群試料之各愛波斯坦測試片尺寸大小的試料，測定了磁力特性。上述磁力特性的測定方式，係使用軋軋方向（L）以及軋軋直角方向（C）的測試片，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）、以及鐵損 $W_{10/800}$ （以磁通密度為 1.0T、頻率為 800Hz 的條件進行激磁時的鐵

損)。

[0060] 此外，將磁力測定後的試料，利用液態氮予以冷卻到達 -150°C 以下之後，在真空中予以斷裂，使用奧杰電子能譜分光法 (AES)，分析了存在於粒界斷裂後的粒界面上的 P 的量。此外，粒界面上的 P 量，係根據第 1 圖所示的奧杰微分光譜中的：在電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值 (peak-peak) 高度 P_{120} 之相對於在電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值 (peak-peak) 高度 Fe_{700} 的比值 (P_{120}/Fe_{700}) 來做評比。

[0061] 表 2 是顯示：A 群試料的測定結果，亦即，從冷軋鋼板做測試片加工之後，就只做最終精製退火而已的情況下的 P_{120}/Fe_{700} 與磁力特性的測定結果。

又，表 3 是顯示：A' 群試料的測定結果，亦即，從冷軋鋼板做測試片加工之後，又進行最終精製退火，再實施最終精製退火後熱處理的情況下的 P_{120}/Fe_{700} 與磁力特性的測定結果。

此外，B' 群試料，亦即，執行了：冷軋鋼帶捲 → 最終精製退火 → 測試片加工 → 最終精製退火後熱處理的情況下之 P_{120}/Fe_{700} 與磁力特性，所有的鋼種都是與表 3 同等程度，又，B 群試料，亦即，執行了：冷軋鋼帶捲 → 最終精製退火 → 測試片加工的情況下的磁力特性，則是因為加工變形而明顯地導致磁力特性變差，因此省略了其記載。

[0062]

[表2]

板 編號	鋼 符號	冷軋後的 處理條件	A E S 分析結果 (P_{120}/Fe_{700})	磁力特性		備 考
				鐵損 $W_{10/800}$ (W/kg)	磁通密度 B_{50} (T)	
19	a	A (*)	0.02	26.3	1.669	比較例
20	b	A	0.03	26.1	1.685	比較例
21	c	A	0.03	26.2	1.681	比較例
22	d	A	0.02	26.1	1.684	比較例
23	e	A	0.04	25.9	1.681	比較例
24	f	A	0.04	26.0	1.682	比較例
25	g	A	0.03	25.4	1.667	比較例
26	h	A	0.02	25.2	1.668	比較例
27	i	A	0.03	25.3	1.668	比較例
28	j	A	0.02	26.2	1.683	比較例
29	k	A	0.03	26.1	1.699	比較例
30	l	A	0.03	26.0	1.692	比較例
31	m	A	0.03	26.1	1.694	比較例
32	n	A	0.03	26.2	1.696	比較例
33	o	A	0.03	26.1	1.696	比較例
34	p	A	0.02	25.3	1.688	比較例
35	q	A	0.03	25.3	1.683	比較例
36	r	A	0.02	25.2	1.683	比較例

* A：從冷軋鋼板做愛波斯坦測試片加工之後，只做最終精製退火

[0063]

[表3]

板 編號	鋼 符號	冷軋後的 處理條件	AES分析結果 (P ₁₂₀ /Fe ₇₀₀)	磁力特性		備 考
				鐵損 W _{10/800} (W/kg)	磁通密度 B ₅₀ (T)	
1	a	A [~] (*)	0.19	25.1	1.670	發明例
2	b	A [~]	0.48	23.4	1.685	發明例
3	c	A [~]	0.35	24.2	1.681	發明例
4	d	A [~]	0.35	24.1	1.683	發明例
5	e	A [~]	0.36	24.1	1.682	發明例
6	f	A [~]	0.41	23.7	1.682	發明例
7	g	A [~]	0.38	23.4	1.668	發明例
8	h	A [~]	0.33	23.6	1.669	發明例
9	i	A [~]	0.34	23.7	1.668	發明例
10	j	A [~]	0.10	24.8	1.683	發明例
11	k	A [~]	0.42	22.4	1.700	發明例
12	l	A [~]	0.29	23.0	1.693	發明例
13	m	A [~]	0.26	23.5	1.695	發明例
14	n	A [~]	0.29	23.2	1.696	發明例
15	o	A [~]	0.33	22.9	1.697	發明例
16	p	A [~]	0.37	22.3	1.687	發明例
17	q	A [~]	0.21	23.0	1.683	發明例
18	r	A [~]	0.23	22.8	1.685	發明例

* A[~]：從冷軋鋼板做愛波斯坦測試片加工之後，又進行最終精製退火，再實施最終精製退火後熱處理

[0064] 將表 2 及表 3 進行比對可以得知，在粒界有較多的 P 偏析出來之表 3 的鋼板，與 P 偏析較少之表 2 的鋼板比較的話，不僅鐵損 W_{10/800} 是良好的，而且磁通密度 B₅₀ 也是同等程度，具有良好的磁力特性。

[產業上的可利用性]

[0065] 本發明可製得高磁通密度材，因此具有降低

馬達的銅損之效果，可非常有利地適用於感應式馬達用的鐵心，這種馬達是具有銅損更高於鐵損的傾向。

申請專利範圍

1. 一種無方向性電磁鋼板，其組成成分是含有：

C：0.010 質量%以下、

Si：1.0~7.0 質量%、

Mn：0.001~3.0 質量%、

sol.Al：0.0001 質量%以上且未達 0.01 質量%、

P：0.01~0.2 質量%、

S：0.010 質量%以下、以及

N：0.010 質量%以下，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所構成的，

將粒界斷裂面利用奧杰（Auger）電子能譜分光法進行分析所獲得的奧杰微分光譜之在於電子能量 120eV 旁邊的 P 的峰值-峰值(peak-peak)高度 P_{120} ，相對於在電子能量 700eV 旁邊的 Fe 的峰值-峰值(peak-peak)高度 Fe_{700} 的比值(P_{120}/Fe_{700})是 0.1 以上，而且板厚為 0.10~0.50mm。

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

3. 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，除了上述組成成分之外，又含有從 Ca、REM（稀土金屬）以及 Mg 之中所選出的 1 種或 2 種以上，其含量分別是 0.001~0.05 質量%。

4. 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，除了上述組成成分之外，又含有從 Ni、Cu 以及

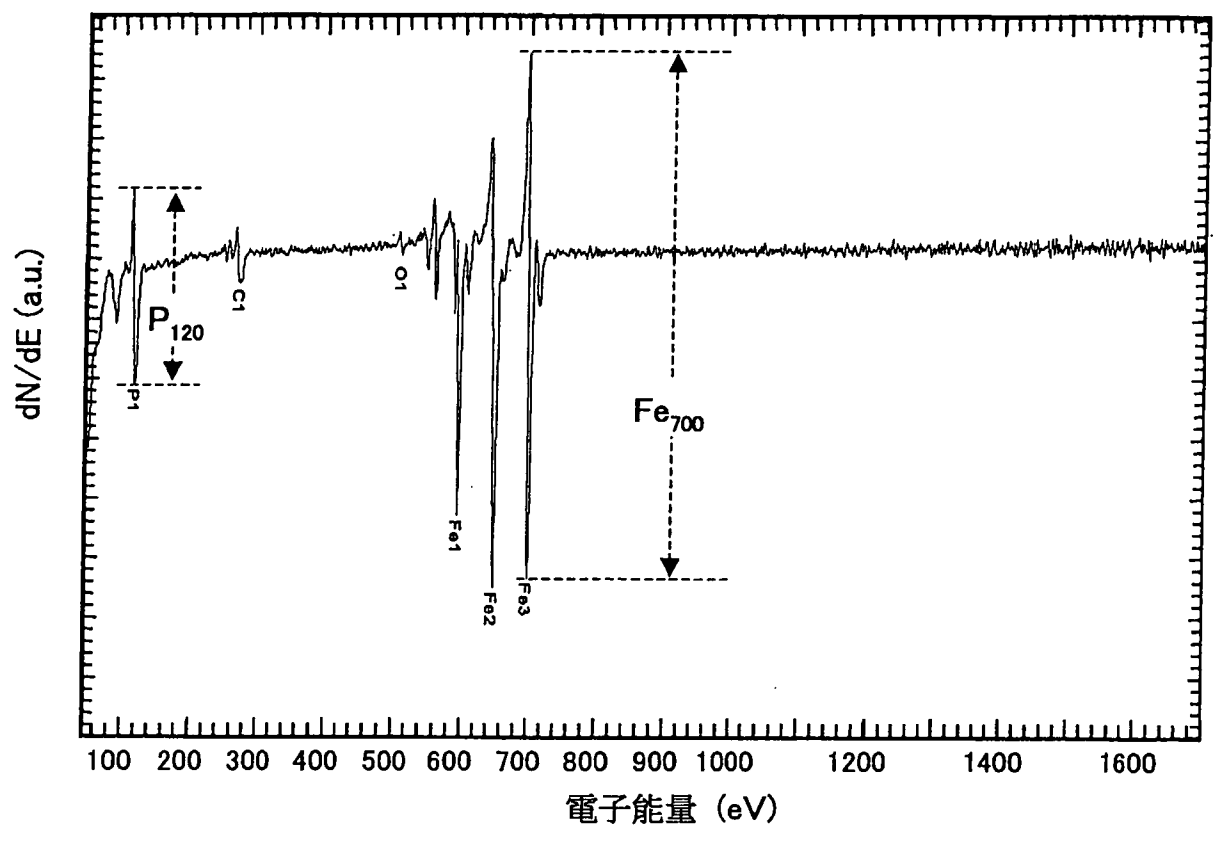
Cr 之中所選出的 1 種或 2 種以上，其含量分別是 0.01~0.5 質量%。

5. 如申請專利範圍第 3 項所述的無方向性電磁鋼板，除了上述組成分之外，又含有從 Ni、Cu 以及 Cr 之中所選出的 1 種或 2 種以上，其含量分別是 0.01~0.5 質量%。

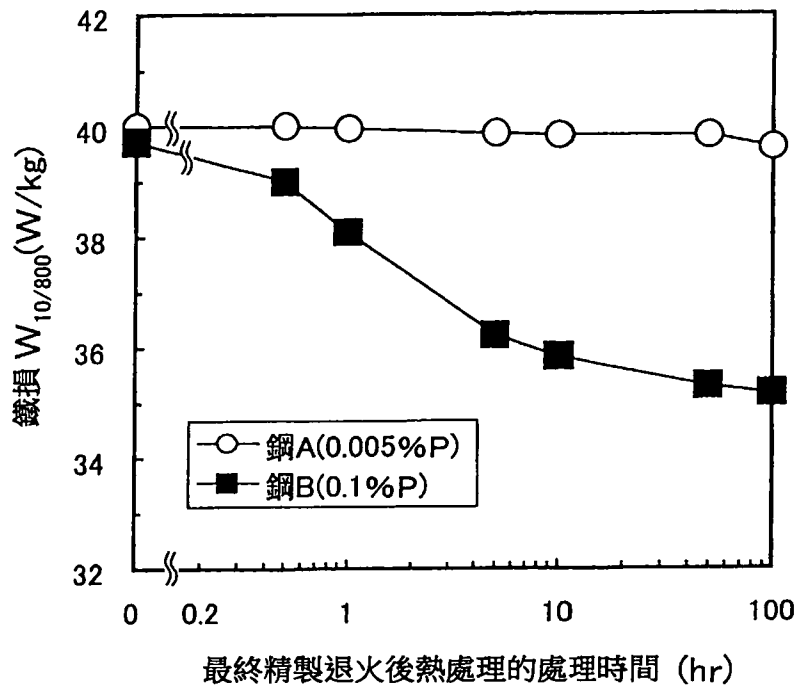
6. 一種馬達，其特徵為：係在鐵心使用如申請專利範圍第 1 項至第 5 項中的任一項所述的無方向性電磁鋼板。

圖式

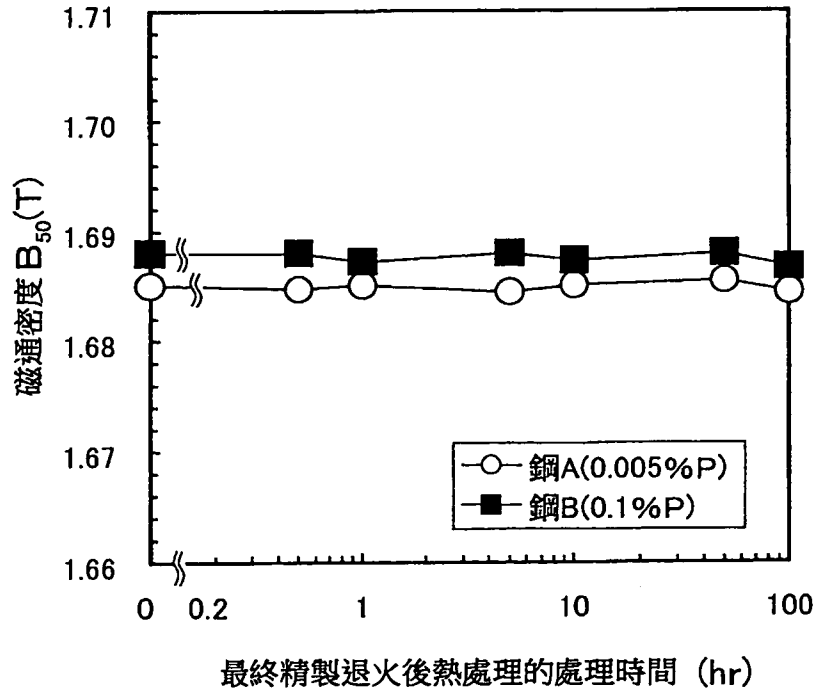
第 1 圖



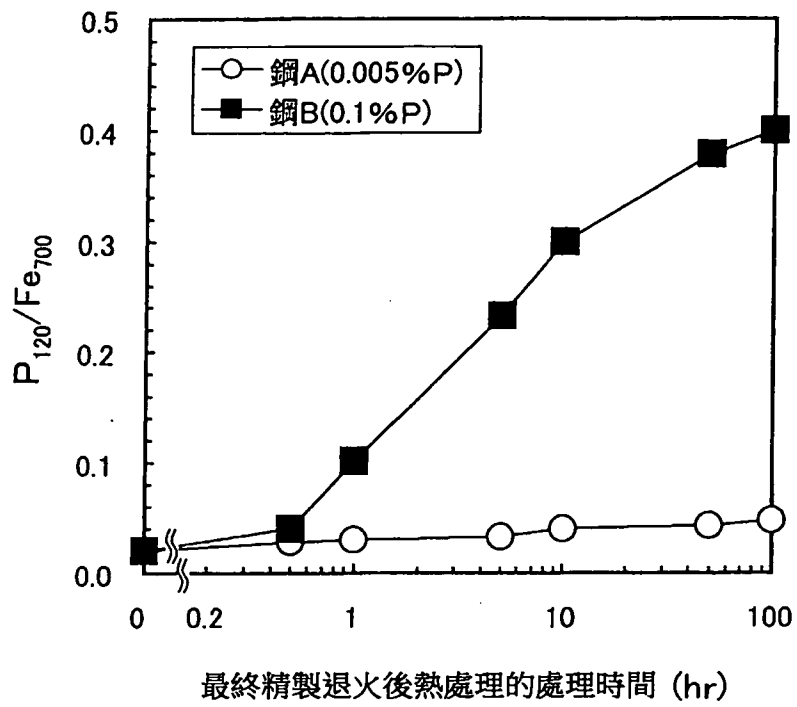
第 2 圖



第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖

