



(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 I445828 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：101113004

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 04 月 12 日

(51)Int. Cl. : C22C38/00 (2006.01)

C22C38/02 (2006.01)

C22C38/08 (2006.01)

(30)優先權：2011/04/13 日本

2011-089529

(71)申請人：新日鐵住金股份有限公司 (日本) NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL
CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：有田吉宏 ARITA, YOSHIHIRO (JP)；藤倉昌浩 FUJIKURA, MASAHIRO (JP)；村
上英邦 MURAKAMI, HIDEKUNI (JP)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

(56)參考文獻：

JP 2007-31754A

審查人員：蔡宜君

申請專利範圍項數：3 項 圖式數：0 共 0 頁

(54)名稱

高強度無方向性電磁鋼板

(57)摘要

本發明係提供一種高強度無方向性電磁鋼板，以質量%計，含有 C：0.010%以下、Si：2.0%以上且 4.0%以下、Mn：0.05%以上且 0.50%以下、Al：0.2%以上且 3.0%以下、N：0.005%以下、S：0.005%以上且 0.030%以下，以及 Cu：0.5%以上且 3.0%以下，且剩餘部份係由 Fe 及不可避免的不純物所構成。當將 Mn 含量以[Mn]表示、S 含量以[S]表示時，式(1)係成立，且每 1mm^2 係含有 1.0×10^4 個以上且 1.0×10^6 個以下之圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $1.0\mu\text{m}$ 以下的硫化物。

$$10 \leq [\text{Mn}]/[\text{S}] \leq 50 \dots\dots\dots (1)$$

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：

(01113004)

※申請日：

101. 4. 12

※IPC 分類：

C22C 38/00 (2006.01)

38/01 (2006.01)

38/08 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

高強度無方向性電磁鋼板

二、中文發明摘要：

本發明係提供一種高強度無方向性電磁鋼板，以質量%計，含有C：0.010%以下、Si：2.0%以上且4.0%以下、Mn：0.05%以上且0.50%以下、Al：0.2%以上且3.0%以下、N：0.005%以下、S：0.005%以上且0.030%以下，以及Cu：0.5%以上且3.0%以下，且剩餘部份係由Fe及不可避免的不純物所構成。當將Mn含量以[Mn]表示、S含量以[S]表示時，式(1)係成立，且每 1mm^2 係含有 1.0×10^4 個以上且 1.0×10^6 個以下之圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $1.0\mu\text{m}$ 以下的硫化物。

$$10 \leq [\text{Mn}]/[\text{S}] \leq 50 \quad \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

三、英文發明摘要：

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 () 圖。(無)

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

發明領域

本發明係有關適用於電氣設備之鐵芯材料的高強度無方向性電磁鋼板。

【先前技術】

發明背景

近年，由於世界性電氣設備省能源化的意識高漲，對於作為旋轉器之鐵芯材料使用的無方向性電磁鋼板，要求更高性能的特性。特別是，在最近作為於電動汽車等使用的馬達，小型高輸出馬達的需求高。在這般的電動汽車用馬達來說，係設計成可高速旋轉而可獲得高力矩。

高速旋轉馬達亦使用在機械工具及吸塵器等電氣設備。惟，電動汽車用之高速旋轉馬達的外形，係較電氣設備用之高速旋轉馬達的外形為大。又，作為電動汽車用之高速旋轉馬達，主要係使用DC無電刷馬達。DC無電刷馬達在轉子的外周附近嵌入有磁鐵。此構造中，轉子外周部之橋部的寬度(自轉子最外周起算至磁鐵間之鋼板為止的寬度)依位置係1~2mm這般非常地狹窄。因這個緣故，在電動汽車用的高速旋轉馬達，變得需求比習知的無方向性電磁鋼板還要高強度的鋼板。又，在其他的用途中，在無方向性電磁鋼板也有被要求更高強度的情事。

在專利文獻1記載有在Si中加入Mn及Ni來圖謀固溶體強化的無方向性電磁鋼板。然而，即便藉由此無方向性電

磁鋼板亦無法獲得充分的強度。又，伴隨著Mn及Ni的添加，韌性容易降低，而無法獲得充分的生產力及產出率。又，所添加合金的價格高。特別是，在近年，因世界性的需求平衡造成Ni的價格高漲。

在專利文獻2及3記載有將碳氮化物分散於鋼中來圖謀強化的無方向性電磁鋼板。然而，即便係藉由此等無方向性電磁鋼板亦無法獲得充分的強度。

在專利文獻4記載有使用Cu析出物來圖謀強化的無方向性電磁鋼板。然而，獲得充分強度係困難的。為了獲得充分的強度，有必要在高溫下進行退火來暫使Cu固溶。然，要是在高溫下進行退火則結晶粒會粗化。也就是說，即便可獲得因Cu析出物所致的析出強化，卻因結晶粒的粗化而造成強度降低而無法獲得充分的強度。又，因析出強化及結晶粒粗化的相乘效應而造成斷裂伸長顯著降低。

在專利文獻5記載有圖謀抑制專利文獻4中之結晶粒粗化的無方向性電磁鋼板。此技術係使含有C、Nb、Zr、Ti、V等。然而，在馬達發熱溫度區域之 150°C ~ 200°C 下碳化物會細微析出，而容易發生磁老化。

在專利文獻6記載有藉由Al及N的析出物來圖謀兼容結晶粒的細微化及Cu的析出強化兩者的無方向性電磁鋼板。然，由於Al大量添加，因此充分地抑制結晶粒的生長係困難的。又，要是提高N含量，則容易產生鑄疵。

在專利文獻7，記載有使含有Cu的無方向性電磁鋼板。然，此技術進行有長時間的熱處理等，而獲得良好的斷裂

伸長等係困難的。

先行技術文獻

【專利文獻】

專利文獻1 日本特開昭62-256917號公報

專利文獻2 日本特開平06-330255號公報

專利文獻3 日本特開平10-18005號公報

專利文獻4 日本特開2004-84053號公報

專利文獻5 國際公開第2009/128428號

專利文獻6 日本特開2010-24509號公報

專利文獻7 國際公開第2005/33349號。

【發明內容】

發明概要

發明欲解決之課題

本發明以提供一邊可獲得良好的磁性質一邊獲得優異強度及斷裂伸長的高強度無方向性電磁鋼板為目的。

用以欲解決課題之手段

本發明係為解決上述問題而作者，其之要旨係如以下。

(1) 一種高強度無方向性電磁鋼板，其特徵在於，以質量%計，含有：

C：0.010%以下、

Si：2.0%以上且4.0%以下、

Mn：0.05%以上且0.50%以下、

Al：0.2%以上且3.0%以下、

N：0.005%以下、

S：0.005%以上且0.030%以下，以及

Cu：0.5%以上且3.0%以下，

而剩餘部份係由Fe及不可避免的不純物所構成，

且將Mn含量以[Mn]表示、S含量以[S]表示時，式(1)係成立，且每 1mm^2 係含有 1.0×10^4 個以上且 1.0×10^6 個以下之圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $1.0\mu\text{m}$ 以下的硫化物，

$10 \leq [\text{Mn}]/[\text{S}] \leq 50 \cdots (1)$ 。

(2) 在第(1)項中所記載之高強度無方向性電磁鋼板，其中以質量%計，含有Ni：0.5%以上且3.0%以下。

(3) 在第(1)或(2)項中所記載之高強度無方向性電磁鋼板，其中以質量%計，含有Ti、Nb、V、Zr、B、Bi、Mo、W、Sn、Sb、Mg、Ca、Ce、Co、Cr、REM中之1種或2種以上合計為0.5%以下。

發明效果

依據本發明，因Cu析出物及硫化物的相互作用一邊可獲得良好的磁性質一邊可獲得優異的強度及斷裂伸長。

【實施方式】

用以實施發明之形態

本發明人等，針對即便以高溫進行退火亦將結晶粒保持為細微的技術，以與專利文獻5及6不同的觀點進行銳意探討。此結果發現藉由令S含量及Mn含量的關係為適切者並令指定尺寸之硫化物的量為適切者，即便以高溫進行退火亦可將結晶粒保持為細微的。此狀況時，引起磁老化般的元素被認為是不需要的。

於此處，針對達至本發明的實驗進行說明。以下，含量單位的「%」意指「質量%」。

在此實驗，首先，以實驗室的真空熔爐將含有C：0.002%、Si：3.2%、Mn：0.20%、Al：0.7%、N：0.002%及Cu：1.5%進一步含有表1顯示量的S且剩餘部份係由Fe及不可避免的不純物構成的鋼予以熔製，並由此鋼來製作鋼胚(平板)。表1中之[Mn]係顯示Mn含量(0.20%)、[S]係顯示S含量。接著，在1100°C下對鋼胚施行加熱60分鐘，直接進行熱軋延以獲得厚度為2.0mm的熱延板。其後，在1050°C下對熱延板施行熱延板退火1分鐘並進行酸洗，再進行一次的冷軋延來獲得厚度為0.35mm的冷軋板。接續著，在800°C~1000°C下對冷軋板施行精加工退火30秒。將精加工退火的溫度顯示於表1。

接著，測定所獲得之無方向性電磁鋼板中硫化物的數量密度。此時，測量對象係令為圓相當徑為0.1 μ m以上1.0 μ m以下者。又，亦測定了降伏應力、斷裂伸長及鐵損。測定鐵損W10/400作為鐵損。於此處，鐵損W10/400係在頻率為400Hz與最大磁通密度為1.0T之條件下的鐵損。此等的結果亦顯示於表1。

表 1

素材符號	S含有量(質量%)	[Mn]/[S]	精加工退火溫度(℃)	硫化物的個數密度(個/mm ²)	降伏應力(Mpa)	斷裂伸長(%)	鐵損W10/400(W/kg)	評價	備註
A	0.003	66.7	900	1.1×10 ³	674	8	24.2	不良	降伏應力及斷裂伸長低
			950	5.7×10 ²	641	3	20.5	不良	降伏應力及斷裂伸長低
			1000	8.6×10	605	1	19.6	不良	降伏應力及斷裂伸長低
			900	7.8×10 ⁴	723	18	30.5	良好	良好
B	0.006	33.3	950	1.2×10 ⁴	728	15	27.6	良好	良好
			1000	5.8×10 ³	713	9	25.6	不良	斷裂伸長低
			900	3.2×10 ³	768	22	31.8	良好	良好
C	0.008	25	950	6.5×10 ⁴	776	18	28.3	良好	良好
			1000	2.4×10 ⁴	784	15	25.3	良好	良好
			900	5.3×10 ³	821	25	33.4	良好	良好
			950	1.2×10 ⁵	845	22	30.1	良好	良好
D	0.019	10.5	1000	6.6×10 ⁴	875	19	29.3	良好	良好
			900	6.7×10 ⁷	834	8	55.7	不良	鐵損差、斷裂伸長低
			950	9.8×10 ⁶	830	23	40.6	不良	鐵損差
E	0.025	8	1000	2.4×10 ⁶	815	25	39.6	不良	鐵損差

如表1顯示般，在 $[Mn]/[S]$ 之值係10以上50以下的素材符號B、C及D獲得了良好的特性。惟，即便係素材符號B當在 1000°C 下進行精加工退火時，硫化物的數量密度低且斷裂伸長低。整體來說，即便是相同素材，要是精加工退火的溫度變高，則硫化物的數量密度有降低的傾向，這被認為是因為在精加工退火中硫化物會粗化的緣故。而且，要是硫化物粗化，則對結晶粒生長的抑止力減弱。這個想法亦適用於當在 1000°C 下以素材符號B進行精加工退火之狀況的結果。即，在此例中，被認為是由於精加工退火的溫度高到 1000°C ，硫化物粗化而硫化物的數量密度變低，而結晶粒的生長未被充分地抑制。

另一方面，在 $[Mn]/[S]$ 之值超過50的素材符號A，斷裂伸長低且降伏應力低。這被認為是由於 $[Mn]/[S]$ 高，硫化物的數量密度低，因此結晶粒的生長進展的緣故。

又，在 $[Mn]/[S]$ 之值小於10的素材符號E，鐵損顯著地高。這被認為是由於 $[Mn]/[S]$ 低，因此硫化物的數量密度高且結晶粒的生長顯著地被抑制的緣故。又，當令精加工退火的溫度為 900°C 時，不僅鐵損高且斷裂伸長係低的。這被認為是由於硫化物的數量密度極度地高，因此不僅是結晶粒的生長連再結晶亦受到妨礙的緣故。

從以上的實驗結果，可說藉由將S含量、 $[Mn]/[S]$ 及硫化物的數量密度控制在指定的範圍內，可獲得鐵損、強度及延展性任一者皆係優異的高強度無方向性電磁鋼板。這樣平衡優異的特性，在習知利用碳氮化物的鋼板及單只添

加有Cu的鋼板來說係無法獲得的特性。

接下來，針對在本發明中數值的限定理由進行說明。

雖然C係對結晶粒的細微化係有效的，但要是無方向性電磁鋼板的溫度成為200℃左右，則會生成碳化物並使鐵損劣化。例如，當無方向性電磁鋼板使用在電動汽車用的高速旋轉馬達時，容易達到這程度的溫度。而且，要是C含量超過0.010%，則這樣的磁老化變得明顯。因此，C含量係令為0.010%以下，更佳係令為0.005%以下。

Si對渦電流損失的減低係有效的。Si對固溶強化亦是有效的。然，要是Si含量小於2.0%，則此等效果變得不充分。而另一方面，要是Si含量超過4.0%，則無方向性電磁鋼板製造時的冷軋延容易變得困難。因此，Si含量係令為2.0%以上4.0%以下。

Mn係與S反應而生成硫化物。在本發明，因為使用硫化物而結晶粒被控制因此Mn係重要的元素。要是Mn含量小於0.05%，則因S的固定變得不充分而產生熱脆化。而另一方面，要是Mn含量超過0.50%，則充分地抑制結晶粒的生長變得困難。因此，Mn含量係令為0.05%以上0.50%以下。

Al與Si相同地，係對渦電流損失的降低及固溶強化係有效的。又，Al亦係展現使氮化物粗大地析出而無害化的作用。然，要是Al含量小於0.2%，則此等效果變得不充分。而另一方面，要是Al含量超過3.0%，則無方向性電磁鋼板製造時的冷軋延容易變得困難。因此，Al含量係令為0.2%以上3.0%以下。

N生成TiN等氮化物而使鐵損劣化。特別是，在當N含量超過0.005%時鐵損的劣化明顯。因此，氮含量係令為0.005%以下。

Cu因析出強化而使強度提升。然，要是Cu含量小於0.5%，則幾乎Cu全部的量固溶而無法獲得析出強化的效果。而另一方面，就算Cu含量超過3.0%，因為效果飽和，而無法獲得相應於含量程度的效果。因此，Cu含量係為0.5%以上3.0%以下。

S係與Mn反應而生成硫化物。在本發明，由於使用硫化物而結晶粒被控制，因此S係重要的元素。要是S含量小於0.005%，則無法充分地獲得此效果。而另一方面，就算S含量超過0.030%，因為效果飽和，而無法獲得相應於含量程度的效果。又，S含量越高則越容易發生熱脆化。因此，S含量係令為0.005%以上0.030%以下。

在本發明中，[Mn]/[S]係用以獲得良好的降伏應力、斷裂伸長及鐵損的重要參數。要是[Mn]/[S]超過50，則抑制結晶粒生長的效果變得不充分，且降伏應力及斷裂伸長會降低。而另一方面，要是[Mn]/[S]係小於10，則與斷裂伸長顯著降低一同，鐵損會顯著劣化。因此，[Mn]/[S]係令為10以上50以下。也就是說，當將Mn含量以[Mn]、S含量以[S]表示時，令式(1)成立。

$$10 \leq [\text{Mn}]/[\text{S}] \leq 50 \quad \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

Ni係可不怎麼使鋼板脆化而高強度化的有效元素。惟，由於Ni價格高，以因應需要使含有為佳。當含有Ni時，

為了獲得充分的效果，其之含量係以0.5%以上為佳，但考慮成本則係以3.0%以下為佳。又，在Ni，伴隨著Cu的含有亦有抑制疵傷的效果。為了獲得此效果，Ni含量係以Cu含量之1/2以上為佳。

又，Sn有集合組織的改善及抑制退火時之氮化及氧化的效果。特別是，將藉由含有Cu而降低的磁束密度藉由集合組織的改善來補償的效果大。為了獲得此效果，Sn亦可係以0.01%以上0.10%以下的範圍被含有。

又，針對其他的微量元素，在不可避免地包含程度之量以外，即便以各種各樣的目的添加其他的微量元素，本發明的效果亦不受任何的損傷。針對此等微量元素之不可避免的含量，通常各個元素皆為0.005%以下左右，但以各種各樣的目的添加0.01%以上係為可能的。此狀況時，亦是從兼顧成本及磁性質的觀點來看，能以合計0.5%以下含有Ti、Nb、V、Zr、B、Bi、Mo、W、Sn、Sb、Mg、Ca、Ce、Co、Cr、REM之1種或2種以上。

接下來，針對硫化物的數量密度進行說明。如從上述實驗結果明顯地，從斷裂伸長及鐵損的觀點來看，圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下之硫化物的數量密度存在適當的範圍。要是此數量密度小於 1.0×10^4 個/ mm^2 ，則硫化物不足而無法充分地抑制結晶粒的生長，雖可獲得良好的鐵損但斷裂伸長會極度地降低。而另一方面，要是此數量密度超過 1.0×10^6 個/ mm^2 ，則結晶粒的生長被過度地抑制而鐵損會極度地劣化。進一步有連再結晶亦被抑制的情事，當在此

狀況時，不單是鐵損連斷裂伸長亦劣化。因此，圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下之硫化物的數量密度係令為 1.0×10^4 個/ mm^2 以上 1.0×10^6 個/ mm^2 以下。

當滿足此等條件時，例如，降伏應力係容易變為 700MPa 以上且斷裂伸長係容易變為 10% 以上。又，當滿足較佳條件時，斷裂伸長係容易變為 12% 以上。又，例如，再結晶面積率係容易變為 50% 以上，而要是令鋼板的厚度為 $t(\text{mm})$ 則鐵損 $W10/400$ 容易變為 $100\times t$ 以下。

接下來，針對有關本發明實施形態之高強度無方向性電磁鋼板的製造方法進行說明。

在本實施形態，首先，將上述組成的平板以 1150°C ~ 1250°C 左右來加熱進行熱軋延而製作熱延板，將熱延板捲繞成線圈狀。接著，一邊解捲熱延板一邊進行冷軋延來製作冷軋板，並將冷軋板捲繞成線圈狀。其後，進行精加工退火。然後，在這樣進行獲得之鋼板的表面形成絕緣膜。也就是說，有關本實施形態的製造方法，大抵係準據已知的無方向性電磁鋼板的製造方法。

各處理的條件雖係未被特別限定者，但存在如於以下所示的較佳範圍。例如，熱軋延之精加工溫度係以 1000°C 以上為佳，捲繞溫度係以 650°C 以下為佳，任一者皆係以因應 Mn 、 S 及 Cu 的含量來適宜決定為佳。這係為了獲得上述硫化物數量密度的緣故。要是精加工溫度過低或者是捲繞溫度過高，則有細微的 MnS 會過度析出的情事。此狀況時，有精加工退火時結晶粒之生長被過度地抑制而變得無法獲

得良好鐵損之情事。

精加工退火的溫度大抵係以令為 $800^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 為佳，而時間係以令為小於600秒為佳。又，精加工退火係以進行連續退火為佳。

從磁束密度提升的觀點來看，以在冷軋延之前進行熱延板退火為佳。此條件雖未被特別限定，以令為在 $1000^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的範圍內30秒以上為佳。藉由在此溫度範圍內進行熱延板退火，使熱延板中的MnS適度地生長，而可使長向方向中MnS析出程度的不均變小。此結果，即便係在精加工退火後亦可在長向方向上獲得安定的特性。要是熱延板退火的溫度小於 1000°C ，或者是熱延板退火的時間小於30秒，則此等效果小。而另一方面，要是熱延板退火的溫度超過 1100°C ，則一部分硫化物固溶而精加工退火後的結晶粒徑變得過小而有變得無法獲得良好鐵損之情事。

實施例

接下來，針對本發明人等進行的實驗進行說明。此等實驗中的條件等，係用以確認本發明的實施可能性及效果而採用之例，本發明並非被限定於此等例者。

首先，以實驗室的真空熔爐將含有Si：3.3%、Mn：0.10%、Al：0.8%、N：0.002%、及Cu：1.2%，進一步含有於表2顯示量的Ni及S且剩餘部份係由Fe及不可避免的不純物構成的鋼予以熔製，而從此鋼來製作鋼胚(平板)。接著，在 1100°C 對鋼胚施行60分鐘的加熱，直接進行熱軋延而獲得厚度為2.0mm的熱延板。其後，在 1020°C 對熱延板施行

60秒的熱延板退火，進行酸洗，再進行一次的冷軋延而獲得厚度為0.30mm的冷軋板。接續著，在900℃對冷軋板施行45秒的精加工退火。

接著，測定所獲得之無方向性電磁鋼板中硫化物的數量密度。此時，測量對象係令為圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下者。又，亦測定降伏應力、斷裂伸長及鐵損。作為鐵損係測定鐵損W10/400。此等之結果亦顯示於表2。

表 2

素材符號	Ni含有量(質量%)	S含有量(質量%)	[Mn]/[S]	硫化物的個數密度(個/mm ²)	降伏應力(Mpa)	斷裂伸長(%)	鐵損W10/400(W/kg)	評價	備註
a	0.002	0.001	100	3.2×10 ²	691	3	16.3	不良	比較例(斷裂伸長低)
b		0.005	20	4.3×10 ⁴	721	12	20.4	良好	發明例
c		0.007	14.3	2.5×10 ⁵	746	15	23.5	良好	發明例
d		0.009	11.1	8.8×10 ⁵	781	16	27.6	良好	發明例
e	1	0.012	8.3	1.5×10 ⁶	811	6	30.6	不良	比較例(鐵損差且斷裂伸長低)
f		0.001	100	3.3×10 ²	740	2	16.1	不良	比較例(斷裂伸長低)
g		0.005	20	4.2×10 ⁴	765	11	20.2	特別良好	發明例(Ni：1%而為高強度)
h		0.007	14.3	2.6×10 ⁵	785	13	23.1	特別良好	發明例(Ni：1%而為高強度)
i	2.5	0.009	11.1	8.7×10 ⁵	821	14	27.2	特別良好	發明例(Ni：1%而為高強度)
j		0.012	8.3	1.3×10 ⁸	855	3	30.2	不良	比較例(鐵損差且斷裂伸長低)
k		0.001	100	3.1×10 ²	791	3	16	不良	比較例(斷裂伸長低)
l		0.005	20	4.1×10 ⁴	816	13	20	特別良好	發明例(Ni：2%而為更高強度)
m		0.007	14.3	2.7×10 ⁵	833	16	22.9	特別良好	發明例(Ni：2%而為更高強度)
n		0.009	11.1	8.3×10 ⁵	877	17	27	特別良好	發明例(Ni：2%而為更高強度)
o		0.012	8.3	1.2×10 ⁶	910	4	31.5	不良	比較例(鐵損差且斷裂伸長低)

如於表2顯示般，在 $[Mn]/[S]$ 之值為10以上50以下且硫化物的數量密度為 1.0×10^4 個以上 1.0×10^6 個以下之素材符號b、c及d中獲得了良好的降伏強度、斷裂伸長及鐵損。又，Ni含量為1.0%的素材符號g、h及i，相較於Ni含量為0.02%(實質上無Ni添加)之素材符號b、c及d，獲得了同等的斷裂伸長及鐵損，進一步獲得了約高50MPa的降伏強度。在Ni含量為2.5%之素材符號l、m及n，相較於Ni含量為0.02%(實質上無Ni添加)之素材符號b、c及d，獲得了同等的斷裂伸長及鐵損，進一步獲得了約高100MPa的降伏強度。

還有，上述實施形態任一者皆不過是顯示實施本發明之際具體化之例者，本發明的技術的範圍並可應因此等而被限定地解釋。即，不脫離本發明之技術思想或是本發明之主要特徵，其係可以各種各樣的形式來實施。

產業上利用可能性

本發明可利用在，例如，電磁鋼板製造產業及馬達等利用電磁鋼板之產業。

【圖式簡單說明】

(無)

【主要元件符號說明】

(無)

七、申請專利範圍：

1. 一種高強度無方向性電磁鋼板，其特徵在於，以質量%計，含有：

C：0.010%以下、

Si：2.0%以上且4.0%以下、

Mn：0.05%以上且0.50%以下、

Al：0.2%以上且3.0%以下、

N：0.005%以下、

S：0.005%以上且0.030%以下，以及

Cu：0.5%以上且3.0%以下，

而剩餘部份係由Fe及不可避免的不純物所構成，

且將Mn含量以[Mn]表示、S含量以[S]表示時，式(1)

係成立，且每 1mm^2 係含有 1.0×10^4 個以上且 1.0×10^6 個以下之圓相當徑為 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $1.0\mu\text{m}$ 以下的硫化物，

$$10 \leq [\text{Mn}]/[\text{S}] \leq 50 \cdots (1)$$

並且該鋼板係在 1000°C 以上之精加工溫度且 650°C 以下之捲繞溫度下，進行熱軋延。

2. 如申請專利範圍第1項之高強度無方向性電磁鋼板，其中以質量%計，含有Ni：0.5%以上且3.0%以下。
3. 如申請專利範圍第1或2項之高強度無方向性電磁鋼板，其中以質量%計，含有Ti、Nb、V、Zr、B、Bi、Mo、W、Sn、Sb、Mg、Ca、Ce、Co、Cr、REM中之1種或2種以上合計為0.5%以下(不包含0)。