

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-127612

(P2008-127612A)

(43) 公開日 平成20年6月5日(2008.6.5)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)
C 2 2 C	38/00	(2006.01)	C 2 2 C	38/00	3 0 3 U	4 K O 3 3
C 2 2 C	38/06	(2006.01)	C 2 2 C	38/06		5 E O 4 1
C 2 1 D	8/12	(2006.01)	C 2 1 D	8/12	A	
H O 1 F	1/16	(2006.01)	H O 1 F	1/16	A	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2006-312270 (P2006-312270)	(71) 出願人	000006655 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(22) 出願日	平成18年11月17日(2006.11.17)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413 弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100113918 弁理士 亀松 宏
		(74) 代理人	100111903 弁理士 永坂 友康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分割コア用無方向性電磁鋼板

(57) 【要約】

【課題】 モーターやトランスの分割コア用として最適な磁気特性を有する無方向性電磁鋼板を提供する。

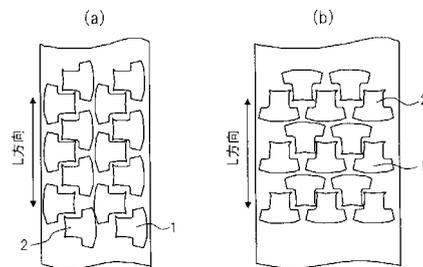
【解決手段】 質量%で、C : 0.005%以下、Si : 2~4%、Mn : 1%以下、Al : 0.2~2%、Sn : 0.003~0.2%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなる熱延板に、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施し、次いで、再結晶焼鈍を施して製造した板厚 : 0.1~0.3mmの無方向性電磁鋼板であって、

(i) 平均結晶粒径が40~200µmの再結晶組織を有し、かつ、(ii) 圧延方向(L方向)と90°の方向(C方向)の磁束密度 $B_{50}(C)$ と、圧延方向(L方向)と45°の方向(X方向)の磁束密度 $B_{50}(X)$ が、下記式(1)を満たす磁気特性を有することを特徴とする分割コア用無方向性電磁鋼板。

$$B_{50}(C) / B_{50}(X) > 1.03 \quad \dots (1)$$

【選択図】 図1

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、C：0.005%以下、Si：2～4%、Mn：1%以下、Al：0.2～2%、Sn：0.003～0.2%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなる熱延板に、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施し、次いで、再結晶焼鈍を施して製造した板厚：0.1～0.3mmの無方向性電磁鋼板であって、

(i) 平均結晶粒径が40～200 μ mの再結晶組織を有し、かつ、

(ii) 圧延方向(L方向)と90°の方向(C方向)の磁束密度 $B_{50}(C)$ と、圧延方向(L方向)と45°の方向(X方向)の磁束密度 $B_{50}(X)$ が、下記式(1)を満たす磁気特性を有する

ことを特徴とする分割コア用無方向性電磁鋼板。

$$B_{50}(C) / B_{50}(X) > 1.03 \quad \dots (1)$$

【請求項 2】

前記磁気特性において、圧延方向(L方向)の磁束密度 $B_{50}(L)$ が、下記式(2)を満たすことを特徴とする請求項1に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

$$B_{50}(L) / B_s \geq 0.82 \quad \dots (2)$$

ここで、 B_s ：飽和磁束密度

【請求項 3】

前記磁気特性において、鉄損 $W_{10/800}$ が40W/kg以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【請求項 4】

前記熱延板に熱延板焼鈍を施すことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【請求項 5】

前記中間焼鈍を900以上の高温で行なうことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【請求項 6】

前記中間焼鈍後の冷間圧延における圧下率が40～75%であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【請求項 7】

前記中間焼鈍後の冷間圧延がレバース圧延であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【請求項 8】

前記再結晶焼鈍において、昇温速度が100～5000/秒であることを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モーターやトランスのコア(鉄芯)材料として用いる無方向性電磁鋼板に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、環境保全や、省エネルギーの観点から、電気自動車への関心が高まり、駆動用モーターには、高速回転と小型化とともに、周波数400～数千Hzで駆動できることが求められている。

【0003】

このため、モーターのコア材料である無方向性電磁鋼板においては、渦電流損失を低減するため、板厚を薄くするとともに、固有抵抗を高め、さらに、鋼板強度(ローター剛性を上げる)を改善するため、Si量及びAl量を増加する必要がある。さらに、無方向性電磁鋼板には、モーターの初動トルクを改善するため、高い磁束密度も要求される。

10

20

30

40

50

【0004】

モーターコアは、無方向性電磁鋼板を打ち抜いて製造されるが、最近は、打抜き歩留りを改善する観点や、巻き線を効率化して銅損を低減する観点から、モーターコアを、ティース部分を個々に分割した分割コアで構成する傾向にある。そして、分割コアのティース部分には、長さ方向及び幅方向（コアバック）に磁界が印加されるので、磁束密度が高いことが要求される。

【0005】

通常、無方向性電磁鋼板から、一つのモーターコアを打ち抜く場合、無方向性電磁鋼板の磁気特性には、鋼板の圧延方向（コイル長手方向、以下「L方向」ということがある。）、L方向と直角の方向（コイル幅方向、以下「C方向」ということがある。）、L方向と45度の方向（以下「X方向」ということがある。）において、差（異方性）が小さいことが望まれる（特許文献1～6、参照）。

10

【0006】

しかし、分割コアを打ち抜く場合、磁気特性の優れた方向に沿って、ティース部分を打ち抜けばよいから、無方向性電磁鋼板を分割コア専用として用いる場合、L方向、C方向、及び、X方向における磁気特性の異方性は、必ずしも、小さくなくてもよい。つまり、磁気特性の異方性が大きいほうが、即ち、X方向の磁気特性を犠牲にして、L方向とC方向の磁気特性を改善したほうが、分割コアの設計において、分割コアのティース部分で所要の磁気特性を確保することができる点で、好ましい。

20

【0007】

【特許文献1】特開2001-49402号公報

【特許文献2】特開2001-164343号公報

【特許文献3】特開2006-45613号公報

【特許文献4】特開2006-45641号公報

【特許文献5】特開2006-144036号公報

【特許文献6】特開2006-199999号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明者は、無方向性電磁鋼板において、磁気特性を高めるため、鋼板の板厚を薄くし、かつ、Si量及び/又はAl量を増加すると、磁束密度の異方性が小さくなるという現象に気がついた。即ち、特定の方向、例えば、L方向やC方向の磁束密度が低下し、所望の磁束密度が得られず、結局、このような磁気特性を有する無方向性電磁鋼板は、分割コア用に適さないという問題に遭遇した。

30

【0009】

そこで、本発明は、モーターやトランスの分割コア用として最適な磁気特性を有する無方向性電磁鋼板を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者は、質量%で、Si：2～4%、及び、Al：0.2～2%を含有する板厚0.1～0.3mmの無方向性電磁鋼板において、Snを0.003～0.2%添加して、ゴス方位の結晶粒を増加し、L方向及びC方向の磁気特性（磁束密度）を改善することを基本思想とし、分割コア用として最適な磁気特性を確保する手法について、鋭意研究した。その結果、次の知見を得るに至った。

40

【0011】

(x) L、C、及び、X方向の磁気特性の差（異方性）は、冷間圧延における圧下率の配分、中間焼鈍前後の結晶粒径、再結晶焼鈍（仕上焼鈍）後の結晶粒径に密接に関連するが、最終的に、これらを制御すれば、異方性の大きい所要の磁束密度 B_{50} （磁化力5000A/mで得られる磁束密度[T]）を確保することができる。

【0012】

50

(y) L方向とC方向の磁気特性を繋ぐ、X方向の磁束密度 B_{50} を低減すると、L方向及びC方向の磁束密度 B_{50} が改善される傾向にあるから、X方向の磁気特性は、分割コア用無方向性電磁鋼板の磁気特性を評価する上で重要な指標であり、C方向の磁気特性との関係で、所定の比の範囲に維持する必要がある。

【0013】

本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、その要旨は以下のとおりである。

【0014】

(1) 質量%で、C: 0.005%以下、Si: 2~4%、Mn: 1%以下、Al: 0.2~2%、Sn: 0.003~0.2%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなる熱延板に、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施し、次いで、再結晶焼鈍を施して製造した板厚: 0.1~0.3mmの無方向性電磁鋼板であって、

10

(i) 平均結晶粒径が40~200 μ mの再結晶組織を有し、かつ、

(ii) 圧延方向(L方向)と90°の方向(C方向)の磁束密度 $B_{50}(C)$ と、圧延方向(L方向)と45°の方向(X方向)の磁束密度 $B_{50}(X)$ が、下記式(1)を満たす磁気特性を有する

ことを特徴とする分割コア用無方向性電磁鋼板。

$$B_{50}(C) / B_{50}(X) > 1.03 \quad \dots (1)$$

【0015】

(2) 前記磁気特性において、圧延方向(L方向)の磁束密度 $B_{50}(L)$ が、下記式(2)を満たすことを特徴とする前記(1)に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

20

$$B_{50}(L) / B_s \geq 0.82 \quad \dots (2)$$

ここで、 B_s : 飽和磁束密度

【0016】

(3) 前記磁気特性において、鉄損 $W_{10/800}$ が40W/kg以下であることを特徴とする前記(1)又は(2)に記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【0017】

(4) 前記熱延板に熱延板焼鈍を施すことを特徴とする前記(1)~(3)のいずれかに記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【0018】

(5) 前記中間焼鈍を900以上の高温で行なうことを特徴とする前記(1)~(4)のいずれかに記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

30

【0019】

(6) 前記中間焼鈍後の冷間圧延における圧下率が40~75%であることを特徴とする前記(1)~(5)のいずれかに記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【0020】

(7) 前記中間焼鈍後の冷間圧延がレバース圧延であることを特徴とする前記(1)~(6)のいずれかに記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

【0021】

(8) 前記再結晶焼鈍において、昇温速度が100~5000/秒であることを特徴とする前記(1)~(7)のいずれかに記載の分割コア用無方向性電磁鋼板。

40

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、モーターやトランスの分割コア用として最適な磁気特性を有する無方向性電磁鋼板を提供することができる。また、本発明によれば、分割コアの形状、及び/又は、分割コアのティース部分に求める磁気特性に応じて、分割コアを設計し、打ち抜くことができるので、無方向性電磁鋼板の利用度が増す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

本発明は、質量%で、C: 0.005%以下、Si: 2~4%、Mn: 1%以下、Al: 0.2~2%、Sn: 0.003~0.2%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物

50

からなる熱延板に、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施し、次いで、再結晶焼鈍を施して製造した板厚0.1~0.3mmの分割コア用無方向性電磁鋼板であって、

(i) 平均結晶粒径が40~200 μ mの再結晶組織を有し、かつ、

(ii) 圧延方向(L方向)と90°の方向(C方向)の磁束密度 $B_{50}(C)$ と、圧延方向(L方向)と45°の方向(X方向)の磁束密度 $B_{50}(X)$ が、下記式(1)を満たす磁気特性を有することを特徴とする。

$$B_{50}(C) / B_{50}(X) > 1.03 \quad \dots (1)$$

【0024】

$B_{50}(C)$ は、鋼板面上で、C方向に5000A/mで磁化して測定したC方向の磁束密度(単位:T)である。 $B_{50}(X)$ は、鋼板面上で、X方向に5000A/mで磁化して測定したX方向の磁束密度である。なお、 $B_{50}(L)$ は、L方向に5000A/mで磁化して測定したL方向の磁束密度である。

10

【0025】

まず、熱延板の成分組成を限定する理由について説明する。なお、以下、%は、質量%を意味する。

【0026】

Cは、鋼板を強化する元素であるが、磁気特性の点で有害な元素であり、極力低減するのが好ましいので、Cは、0.005%以下に限定した。好ましくは、0.003%以下である。

【0027】

Siは、鋼板の電気抵抗を高め、鉄損を低減する元素であるので、2%以上を含有する。4%を超えて含有すると、鋼板が脆化し、また、所要の磁束密度 B_{50} が得られないので、Siの上限を4%とした。

20

【0028】

Mnは、熱間圧延時に、MnSとしてSを固定し、熱間圧延時の鋼板耳割れを防止する元素である。固溶Mnは、鋼板の電気抵抗を高め、鉄損を低減するが、Mnが多すぎると結晶粒成長性が阻害されるので、Mnの上限を1%とした。

【0029】

Alは、Siと同様に、鋼板の電気抵抗を高め、鉄損を低減する元素であるので、0.2%以上を含有する。ただし、Alが多くなると、磁束密度の異方性が小さくなる傾向にあるので、本発明で採用する各種の対策が必要となる。一方、2%を超えて含有すると、添加コストの問題や、飽和磁束密度の低下が懸念されるので、上限を2%とした。

30

【0030】

Snは、Si:2~4%、及び、Al:0.3~2%を含有する無方向性電磁鋼板の再結晶組織において、Goss方位粒を増加し、特に、L方向の磁気特性(磁束密度)を改善するために、0.003%以上含有する必要がある。一方、0.2%を超えて含有しても、上記改善効果は飽和するし、熱間脆性の問題で表面疵が増加するので、上限を0.2%とした。

【0031】

本発明は、上記元素の他、不可避的不純物として、S、P、N、O、Cu、Ni、Cr、Ca、REM(希土類元素)等を、本発明の機械特性及び磁気特性を損なわない範囲で含有してもよい。ただし、従来どおり、不純物としてのS、N、及び、Oは、少ないほうが好ましい。それら各成分は、それぞれ、0.003%以下、0.0025%以下、及び、0.003%以下が好ましい。

40

【0032】

また、狙いの異方性を阻害しないことを確認している範囲は、Cu<0.2%、Ni<0.1%、Cr<0.1%、Ca<0.01%、Nb<0.002%、Ti<0.003%、REM<0.01%であるので、これら元素は、それぞれ上記範囲内に抑制するのが望ましい。なお、Sbは、異方性を小さくするので、添加してはならない。Sbは、不可避的に含有する場合は、0.001%未満が好ましい。

50

【 0 0 3 3 】

上記成分組成の熱延板に、熱延板焼鈍を施すか、又は、施さないで、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施し、次いで、仕上焼鈍（再結晶焼鈍）を施して、平均結晶粒径が40～200 μm の再結晶組織を形成する。

【 0 0 3 4 】

本発明においては、前述した知見（x）に基づいて、再結晶組織の平均結晶粒径を40～200 μm に限定する。平均結晶粒径が大きいと、鉄損特性は改善されるが、磁束密度の異方性が小さくなる傾向にある。この傾向からすれば、平均結晶粒径は小さいほうがよいが、40 μm 未満であると、所望の高周波鉄損 $W_{10/800}$ が得られない。

【 0 0 3 5 】

一方、平均結晶粒径が200 μm を超えると、磁束密度の異方性が小さくなり、本発明の狙う所望の $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ が確保することが困難となる。高周波鉄損をさらに改善する意味では、再結晶組織の平均結晶粒径は80～200 μm がより好ましい。

【 0 0 3 6 】

なお、平均結晶粒径は、鋼板断面を光学顕微鏡で観察した組織において、L方向の線分と交差する結晶粒界の個数を数え、平均化して求めた。

【 0 0 3 7 】

本発明は、平均結晶粒径40～200 μm の再結晶組織を有する板厚0.1～0.3mの無方向性電磁鋼板が、下記式（1）を満たす磁気特性を有することを特徴とする。

$$B_{50}(C) / B_{50}(X) > 1.03 \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 8 】

なお、 $B_{50}(C)$ 、 $B_{50}(X)$ 、及び、 $B_{50}(L)$ については、前述したとおりである。

【 0 0 3 9 】

X方向の $B_{50}(X)$ は、L方向の $B_{50}(L)$ がC方向の $B_{50}(C)$ （通常、 $B_{50}(L) > B_{50}(C)$ ）へ遷移する過程で、両者を繋ぐ磁束密度 B_{50} である。そして、本発明者は、X方向の $B_{50}(X)$ に着目した。

【 0 0 4 0 】

$B_{50}(C) / B_{50}(X)$ は、X方向の $B_{50}(X)$ に着目し、 $B_{50}(C)$ と $B_{50}(X)$ の差を、両者の比で評価する指標であり、この比を所定の範囲内に規定することは、 $B_{50}(C)$ と $B_{50}(X)$ の差を、所定の範囲内に抑制することを意味している。

【 0 0 4 1 】

本発明者は、この意味するところは、下記の理由で、無方向性電磁鋼板の分割コア用としての適確性を判断する上で、極めて重要であるとの認識に立ち、分割コア用無方向性電磁鋼板の磁気特性を評価する指標として、「 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ 」を導入した。

【 0 0 4 2 】

図1(a)及び(b)に、分割コアの打ち抜き態様を示す。図1(a)は、分割コアのテース部分をC方向（L方向と90°）に設定し、打抜き歩留りを最優先して打ち抜く態様（以下「打抜き態様A」ということがある。）を示し、図1(b)は、分割コアのテース部分をL方向に設定し、打抜き歩留りとともに、鉄心特性（テース部の磁束密度）を重視して打ち抜く態様（以下「打抜き態様B」ということがある。）を示す。

【 0 0 4 3 】

直近、電動モーターの分野では、従来の一休コアに加え、打抜き歩留まりの向上や、巻き線の効率化による銅損向上の観点から、分割コアを用いるケースが増加している。分割コアは、圧延後コイル状に巻き取った電磁鋼板コイルの圧延方向（L方向）に対し、打抜き態様A又は打抜き態様Bで打ち抜かれる場合が多い。

【 0 0 4 4 】

一般に、工業的に製造される無方向性電磁鋼板は、C方向及びX方向の磁気特性（磁化特性、鉄損特性）が、L方向の磁気特性（磁化特性、鉄損特性）に比べ劣位であり、C方向又はX方向の磁気特性が、分割コア鉄心全体の磁気特性を左右することになる。

【 0 0 4 5 】

10

20

30

40

50

そして、分割コア鉄芯の磁束流には、打抜き態様 A 及び打抜き態様 B で打ち抜かれた分割コアのいずれの場合も、磁束が L 方向から C 方向に回転する途中に、遷移的な X 方向の磁束流が存在するが、分割コアでは、この X 方向の遷移的な磁束流領域は少なく、分割コア鉄心の磁気特性に及ぼす影響度は小さいと推測される。

【 0 0 4 6 】

つまり、本発明者は、C 方向の磁気特性と X 方向の磁気特性の比： $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ が大きくなるように材料設計すれば、分割コア鉄心全体の磁気特性を改善することができると思つた。

【 0 0 4 7 】

なお、L 方向と C 方向における適正な磁気特性のバランスは、分割コア一片の寸法、形状により決定される。

10

【 0 0 4 8 】

$B_{50}(C) / B_{50}(X)$ を所定の範囲に規定することは、無方向性電磁鋼板の磁気特性の異方性を所定の範囲に限定することであるから、分割コアを設計する際、分割コア鉄心全体の磁気特性の向上を考慮して、分割コアの形状、及び、打ち抜き態様を設計することができる。

【 0 0 4 9 】

したがって、 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ は、無方向性電磁鋼板の分割コア用としての適確性を判断する上で、極めて重要な指標である。そして、本発明においては、 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ を、上記式 (1) で規定した。即ち、本発明において、 $B_{50}(L) / B_{50}(X)$ が、1.03 以下であれば、磁気特性の異方性が小さくなって、必要な、L 方向と C 方向の磁気特性が得られない。

20

【 0 0 5 0 】

なお、上記式 (1) は、無方向性電磁鋼板の板厚が 0.1 ~ 0.3 mm の場合に成立する関係式であり、板厚が上記範囲を超える無方向性電磁鋼板に適用することはできない。

【 0 0 5 1 】

例えば、板厚が 0.3 mm を超えると、 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ が急激に大きくなり、分割コア用としての磁気特性としては満足できるが、高周波用のコアとしては不適格である。

【 0 0 5 2 】

本発明は、板厚が薄くても（薄ければ、磁気特性の異方性が小さくなる）、なおかつ、 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ が大きい（即ち、磁気特性の異方性が大きい）分割コア用無方向性電磁鋼板の開発に取り組み、その結果、なされたものである。

30

【 0 0 5 3 】

即ち、本発明は、分割コア用としての無方向性電磁鋼板の磁気特性を評価するため、磁気特性の異方性を表示する指標「 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ 」を導入し、その下限を規定することを基本思想とするものである。

【 0 0 5 4 】

分割コアを設計する場合、上記式 (1) には現れない L 方向の磁束密度 $B_{50}(L)$ も重要な指標である。 $B_{50}(L)$ の値は、当然のことながら、鋼板の成分組成によっても変化するので、飽和磁束密度 B_s との比： $B_{50}(L) / B_s$ （結晶方位指標）を採用し、この比によつても、無方向性電磁鋼板の磁気特性を評価することが好ましい。

40

【 0 0 5 5 】

より優れた磁気特性を有する分割コアを得る場合には、 $B_{50}(L) / B_s$ が、下記式 (2) を満たすように材料設計をすることが必要である。

$$B_{50}(L) / B_s \geq 0.82 \quad (2)$$

【 0 0 5 6 】

結晶方位指標 $B_{50}(L) / B_s$ が 0.82 未満であると、分割コアとしての磁気特性が不十分である。

【 0 0 5 7 】

本発明は、熱延板に焼鈍を施すか、又は、施さないで、中間焼鈍を挟む 2 回の冷間圧延

50

を施し、次いで、仕上焼鈍（再結晶焼鈍）を施すことを要件とするものであるので、次に、好ましい製造要件について、説明する。

【0058】

熱延板焼鈍は、実施すること、実施しないことも可能である。しかし、熱延板焼鈍を実施すると、磁束密度 $B_{50}(L)$ を、約 0.01 T 程度改善することができる。焼鈍温度は、通常の 850 以上が好ましい。

【0059】

熱延板焼鈍後の冷間圧延（一次冷延）について、特別な制限条件はないが、続く、中間焼鈍、及び、中間焼鈍後の冷間圧延（二次冷延）と仕上焼鈍（再結晶焼鈍）は、重要である。

【0060】

本発明においては、熱延板に、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施すことにより、C方向の磁束密度 $B_{50}(C)$ と、X方向の磁束密度 $B_{50}(X)$ の比： $B_{50}(C)/B_{50}(X)$ 、即ち、磁気特性の異方性を大きくすることが特徴である。

【0061】

特に、冷間圧延を、一次冷延と二次冷延の2回に分けて行うことにより、通常の一回の冷延法に比べて、一回の冷間圧延当たりの圧下率を大幅に減少させることができるし、また、熱延板の板厚と製品板の板厚との組み合わせの中で、圧下率の選択範囲が増え、最適な圧下率の下で結晶方位制御を行なうことができる。

【0062】

そして、特に、二次冷延での圧下率、即ち、二次冷延率が、指標 $B_{50}(C)/B_{50}(X)$ の値に、支配的に効いていることが分かった。

【0063】

中間焼鈍は、十分に、結晶粒を成長させるべく、 900 以上の高温で行なうことが望ましい。高温で中間焼鈍を行なうことにより、磁束密度 $B_{50}(L)$ 及び $B_{50}(C)$ を改善することができる。

【0064】

本発明においては、中間焼鈍後の冷間圧延（二次冷延）における圧下率を $40\sim75\%$ とすることが、磁気特性の異方性を大きくする点で好ましい。圧下率 60% 程度で、最も大きい異方性 $B_{50}(C)/B_{50}(X)$ が得られ、圧下率 60% 程度をピークにして、その前後、即ち、軽圧下側でも強圧下側でも、徐々に、異方性 $B_{50}(C)/B_{50}(X)$ が低下する。圧下率が 40% 未満と 75% 超では、本発明所望の分割コア用としての磁束密度の異方性が得られない。

【0065】

磁気特性の異方性を大きくした無方向性電磁鋼板において、分割コアを、ティース部分をL方向に設定して打ち抜けば、磁束密度の高いティース部分を有する分割コアを得ることができる。スキンパス圧延における圧下率を調整することにより、C方向とX方向の B_{50} の比を調整できるので、分割コアの設計で要求される磁束密度に応じて、無方向性電磁鋼板を製造することができる。

【0066】

なお、二次冷延は、レバース圧延が好ましい。この圧延により、一方向圧延のいわゆるタンデム圧延に比較し、 $B_{50}(L)$ を、 0.02 T ほど改善することができる。レバース圧延は、通常のゼンジミヤール圧延などで実施することができる。

【0067】

仕上焼鈍（再結晶焼鈍）においては、昇温速度を、少なくとも $600\sim700$ の温度範囲にて、 $100\sim5000$ / 秒として急速加熱することが好ましい。この急速加熱で、Goss方位粒を増加させ、特に、 $B_{50}(C)/B_{50}(X)$ を改善することができる。昇温速度が 100 / 秒未満では、上記改善効果が少なく、また、 5000 / 秒以上では、工業的な設備コスト面で無理がある。

【0068】

10

20

30

40

50

また、鉄損 $W_{10/800}$ は、 40 W/kg 以下であることが好ましい。コンパクトなモーターコアにするための高速回転仕様に適用させるためである。

【実施例】

【0069】

次に、本発明の実施例について説明するが、実施例の条件は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例であり、本発明は、この一条件例に限定されるものではない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

【0070】

(実施例1)

鋼を真空溶解炉で溶解しつつ、成分組成を調整し、表1に示す成分組成を有するインゴットを鑄造した。これを、1070 に加熱して熱間圧延し、2.10 mm厚の熱延板とした。次いで、 N_2 雰囲気中、900 で120秒均熱して焼鈍を行った。酸洗後、冷間圧延を施して、板厚0.40 mm (81%圧下)の冷延板とした。

【0071】

中間焼鈍を、 H_2 雰囲気中で、1000 で3秒均熱して行った。次いで、二次冷延して、板厚を0.20 mm (50%圧下)とした。

【0072】

仕上焼鈍を、 H_2 雰囲気中、1000 で10秒均熱し、冷延板に、再結晶焼鈍を施した。55 mm角に打抜いて、SSTで、角度別の磁気特性を測定した。平均結晶粒径は、100 ~ 110 μm の範囲であった。得られた結果を表1に示す。

【0073】

飽和磁束密度 B_s は、振動試料型磁力計 (Vibrating Sample Magnetometer) で計測した。 $W_{10/800}$ は、磁束密度 1.0 T、周波数 800 Hz での鉄損であり、L方向とC方向の測定値を平均化したものである。

【0074】

実施例2以下も、これらの記号に準じるものとする。

【0075】

【表1】

表1

実験 No.	成分 (mass %)							$B_{50}(\text{C}) / B_{50}(\text{X})$	$B_{50}(\text{L}) / B_s$	$W_{10/800}$ (W/kg)	備考
	C	Si	Mn	Al	S	N	Sn				
1	0.002	2.9	0.4	0.5	0.0003	0.001	0	1.01	0.81	28.1	比較例
2	0.002	2.9	0.4	0.5	0.0003	0.001	0.002	1.02	0.82	27.8	比較例
3	0.002	2.9	0.4	0.5	0.0003	0.001	0.004	1.04	0.86	27.0	発明例
4	0.002	2.9	0.4	0.5	0.0003	0.001	0.15	1.07	0.88	26.5	発明例
5	0.002	2.9	0.4	0.5	0.0003	0.001	0.20	1.08	0.88	26.2	発明例

註) 下線付き数値は、本発明範囲外を示す。

【0076】

Sn量が本発明の範囲で、優れた磁束密度の異方性を得ることができた。

【0077】

(実施例2)

質量%で、C: 0.0010%、Si: 2.3%、Mn: 0.2%、Al: 1.95%、Sn: 0.03%、S: 0.0001%、N: 0.0008%、O: 0.002%、P: 0.025%を含む板厚1.6 mmの熱延板を、一次冷延(タンデム圧延)し、板厚0

．40 mm (75% 圧下) としてから、表 2 に示す中間焼鈍温度で、 H_2 雰囲気中、10 秒、熱処理した。次いで、二次冷延 (タンデム圧延) を行い、板厚 0.12 mm (70% 圧下) とした。

【0078】

仕上焼鈍を、表 2 に示す温度で、 H_2 雰囲気中、20 秒均熱して行った。55 mm 角に打ち抜いてから、SST で、角度別の磁気特性を測定し、また、平均結晶粒径も測定した。得られた結果を表 2 に示す。

【0079】

【表 2】

表 2

実験 No.	中間焼鈍	仕上焼鈍		$B_{50}(C) /$ $B_{50}(X)$	$B_{50}(L) /$ B_s	$W_{10/800}$ (W/kg)	備考
	温度 °C	温度 °C	粒径 μm				
1	<u>700</u>	1000	160	<u>0.99</u>	<u>0.81</u>	21.5	比較例
2	<u>890</u>	1000	160	<u>1.03</u>	0.84	21.5	比較例
3	910	1000	160	1.04	0.87	21.4	発明例
4	1000	1000	158	1.05	0.88	21.3	発明例
5	1100	1000	155	1.06	0.89	21.3	発明例
6	960	780	<u>20</u>	1.07	0.86	<u>45.5</u>	比較例
7	960	850	<u>38</u>	1.07	0.86	<u>40.3</u>	比較例
8	960	860	40	1.06	0.85	38.0	発明例
9	960	900	110	1.06	0.86	22.1	発明例
10	960	1020	230	1.05	0.87	21.4	発明例
11	960	1050	295	1.03	0.86	20.4	発明例
12	960	1070	<u>310</u>	<u>1.01</u>	0.86	20.3	比較例

註) 下線付き数値は、本発明範囲外を示す。

10

20

30

【0080】

中間焼鈍温度が、本発明の範囲内で高いと、分割コア用として、L 方向と C 方向に優れた磁束密度を有する磁気特性が得られていることが、実験 No. 1 ~ 5 から分かる。また、仕上焼鈍後の平均結晶粒径については、実験 No. 6 ~ 12 より、本発明の範囲内で、優れた異方性 $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ と同時に、高周波鉄損 $W_{10/800}$ が得られていることが分かる。

【0081】

(実施例 3)

質量%で、C: 0.003%、Si: 3.5%、Mn: 0.6%、Al: 0.3%、Sn: 0.05%、その他、不可避的成分として、Cu: 0.15%、Ni: 0.01%、Cr: 0.01%、Ti: 0.002%、Mo: 0.002%、P: 0.02% を含むスラブを、1000 に加熱し、板厚 2.7 mm の熱延板を得た。熱延板を、1050 で 150 秒、 N_2 雰囲気中で焼鈍した後、酸洗し、一次冷延 (タンデム圧延) を行った。

40

【0082】

中間焼鈍を、950 で 10 秒、 H_2 雰囲気中で実施し、次いで、表 3 に示す圧下率の二次冷延を、レバースミルで行って、板厚を 0.28 mm とした。それから、 H_2 雰囲気中、970 で 8 秒均熱して仕上焼鈍を行った。仕上焼鈍における昇温速度は、12 / 秒であった。エプスタイン試料を切り出してから、角度別の磁気特性及び結晶粒径を計測した。得られた結果を表 3 に示す。

50

【 0 0 8 3 】

【 表 3 】

表 3

実験 No.	二次冷延 率 (%)	結晶粒径 (μm)	$B_{50}(C) /$ $B_{50}(X)$	$B_{50}(L) /$ B_s	$W_{10/800}$ (W/kg)	備考
1	0	170	<u>1.01</u>	0.82	26.8	比較例
2	<u>25</u>	191	<u>1.02</u>	0.84	27.3	比較例
3	<u>38</u>	188	<u>1.03</u>	0.85	26.0	比較例
4	41	188	1.04	0.86	26.0	発明例
5	55	183	1.07	0.87	25.9	発明例
6	60	180	1.08	0.87	25.8	発明例
7	70	178	1.07	0.86	25.8	発明例
8	73	175	1.04	0.85	26.3	発明例
9	<u>76</u>	170	<u>1.03</u>	0.84	27.1	比較例
10	<u>83</u>	163	<u>1.01</u>	<u>0.81</u>	28.5	比較例

註) 下線付き数値は、本発明範囲外を示す。

10

20

【 0 0 8 4 】

二次冷延率が本発明の範囲内のものは、分割コアに適した異方性が発現している。

【 0 0 8 5 】

(実施例 4)

実施例 3 で用いた実験 No. 7 の板厚 0.28 mm の 2 次冷延板を、誘導加熱装置で急速加熱した。昇温速度は、常温から 1030 まで、表 4 に示すように変更した。雰囲気は、30% H_2 + 70% N_2 とし、均熱は、1030 で 10 秒、行った。次いで、エプスタイン試料を切り出して、角度別の磁気特性及び結晶粒径を計測した。結晶粒径は、全てが 190 μm であった。得られた結果を表 4 に示す。

【 0 0 8 6 】

30

【 表 4 】

表 4

実験 No.	加熱速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)	$B_{50}(C) /$ $B_{50}(X)$	$B_{50}(L) /$ B_s	$W_{10/800}$ (W/kg)	備考
1	15	1.05	0.85	25.1	本発明例
2	70	1.05	0.85	25.0	本発明例
3	100	1.07	0.86	24.7	本発明例
4	500	1.08	0.86	24.4	本発明例
5	1200	1.09	0.87	23.8	本発明例
6	5000	1.10	0.87	23.2	本発明例

40

【 0 0 8 7 】

表 4 から、昇温速度が上昇すると、磁束密度の異方性が改善され、特に、昇温速度が 100 / 秒以上では、優れた $B_{50}(C) / B_{50}(X)$ が得られることが分かった。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 8 】

50

前述したように、本発明によれば、モーターやトランスの分割コア用として最適な磁気特性を有し、かつ、利用度の高い無方向性電磁鋼板を提供することができる。したがって、本発明は、無方向性電磁鋼板を素材として用いる電気機器製造産業において利用可能性が大きいものである。

【図面の簡単な説明】

【0089】

【図1】分割コアの打ち抜き態様を示す図である。(a)は、分割コアのテース部分をC方向(L方向に90°の方向)に設定して打ち抜く態様を示し、(b)は、分割コアのテース部分をL方向に設定して打ち抜く態様を示す。

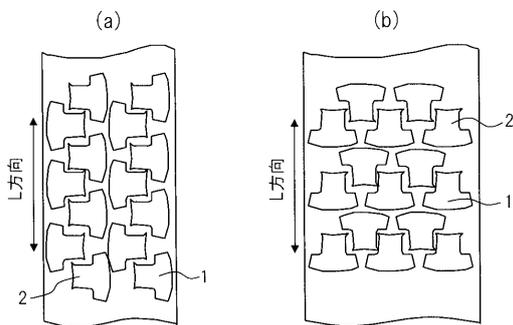
【符号の説明】

【0090】

- 1 分割コア
- 2 テース部分

【図1】

図1



フロントページの続き

(72)発明者 脇坂 岳顕
兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72)発明者 新井 聡
兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72)発明者 島津 高英
兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72)発明者 阿部 憲人
兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社広畑製鐵所内

Fターム(参考) 4K033 AA01 CA02 CA09 DA01 FA02 FA13 FA14 GA00 HA03 HA06
JA01 KA01 QA01
5E041 AA02 AA04 AA20 CA01 HB11 NN01 NN06 NN13 NN15 NN18