

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7448873号
(P7448873)

(45)発行日 令和6年3月13日(2024.3.13)

(24)登録日 令和6年3月5日(2024.3.5)

(51)国際特許分類	F I			
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U		
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60			
H 0 1 F 1/147(2006.01)	H 0 1 F 1/147	1 7 5		
H 0 2 K 1/02 (2006.01)	H 0 2 K 1/02	Z		
C 2 1 D 9/00 (2006.01)	C 2 1 D 9/00	S		
請求項の数 9 (全28頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願2023-549890(P2023-549890)	(73)特許権者 000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号
(86)(22)出願日 令和5年3月28日(2023.3.28)	
(86)国際出願番号 PCT/JP2023/012705	(74)代理人 110001519 弁理士法人太陽国際特許事務所
(87)国際公開番号 WO2023/190621	
(87)国際公開日 令和5年10月5日(2023.10.5)	(72)発明者 太田 俊 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内
審査請求日 令和5年8月17日(2023.8.17)	(72)発明者 田中 一郎 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内
(31)優先権主張番号 特願2022-57541(P2022-57541)	審査官 河口 展明
(32)優先日 令和4年3月30日(2022.3.30)	
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	
(31)優先権主張番号 特願2022-132805(P2022-132805)	
(32)優先日 令和4年8月23日(2022.8.23)	
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	
早期審査対象出願	最終頁に続く

(54)【発明の名称】 無方向性電磁鋼板及びモータコア

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量 % で、
C : 0 . 0 0 6 % 以下、
S i : 1 . 0 % 以上 5 . 0 % 以下、
s o l . A l : 2 . 5 % 未満、
M n : 3 . 0 % 以下、
P : 0 . 2 0 % 以下、
S : 0 . 0 1 0 % 以下、
N : 0 . 0 1 0 % 以下、
O : 0 . 1 0 % 以下、
S n : 0 ~ 0 . 2 0 % 、
S b : 0 ~ 0 . 2 0 % 、
C a : 0 ~ 0 . 0 1 % 、
C r : 0 ~ 5 . 0 % 、
N i : 0 ~ 5 . 0 % 、
C u : 0 ~ 5 . 0 % 、
C e : 0 ~ 0 . 1 0 % 、
B : 0 ~ 0 . 1 0 % 、
M g : 0 ~ 0 . 1 0 % 、

Ti : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 V : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 Zr : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 Nd : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 Bi : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 W : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 Mo : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 Nb : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 Y : 0 ~ 0 . 1 0 %、
 残部 : Fe および不純物、

10

からなる化学組成を有し、

平均結晶粒径が 30 μm 以上 200 μm 以下であり、

鋼板の表面から板厚方向に板厚の 1 / 4 の位置において、{ 1 1 1 } < 0 1 1 > 集積度が 2 . 0 0 以上 5 . 9 8 以下である無方向性電磁鋼板。

【請求項 2】

質量 % で、

Sn : 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 2 0 % 以下、
 Sb : 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 2 0 % 以下、
 Ca : 0 . 0 0 0 3 % 以上 0 . 0 1 % 以下、
 Cr : 0 . 0 0 1 0 % 以上 5 . 0 % 以下、
 Ni : 0 . 0 0 1 0 % 以上 5 . 0 % 以下、
 Cu : 0 . 0 0 1 0 % 以上 5 . 0 % 以下、
 Ce : 0 . 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 B : 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Mg : 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Ti : 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 V : 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Zr : 0 . 0 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Nd : 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Bi : 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 W : 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Mo : 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、
 Nb : 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、及び
 Y : 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、

20

からなる群から選択される 1 種又は 2 種以上を含む、請求項 1 に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項 3】

前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の 1 / 4 の位置において、{ 1 1 0 } < 0 0 1 > 集積度が 1 . 0 0 以上である請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項 4】

前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の 1 / 4 の位置において、{ 1 1 1 } < 1 1 2 > 集積度 / { 1 1 1 } < 0 1 1 > 集積度の値が 1 . 0 0 以下である請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向性電磁鋼板。

40

【請求項 5】

前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の 1 / 4 の位置において、{ 4 1 1 } < 1 4 8 > 集積度が 2 . 0 0 以下である請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項 6】

前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の 1 / 4 の位置において、{ 4 1 1 } < 0 1 1 > 集積度が 2 . 0 0 以下である請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項 7】

板厚が 0 . 1 0 mm 以上 0 . 3 5 mm 以下である請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向

50

性電磁鋼板。

【請求項 8】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向性電磁鋼板が複数枚積層された構造を有するモータコア。

【請求項 9】

前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、

$\{110\} < 001 >$ 集積度が 1.00 以上、

$\{111\} < 112 >$ 集積度 / $\{111\} < 011 >$ 集積度の値が 1.00 以下、

$\{411\} < 148 >$ 集積度が 2.00 以下、及び

$\{411\} < 011 >$ 集積度が 2.00 以下、

10

の少なくとも 1 つを満たす請求項 1 又は請求項 2 に記載の無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、無方向性電磁鋼板及びモータコアに関する。

【背景技術】

【0002】

地球温暖化ガスを削減する必要性から、工業分野では消費エネルギーの少ない製品が開発されている。例えば、自動車分野においては、ガソリンエンジンとモータとを組み合わせたハイブリッド駆動自動車、モータ駆動の電気自動車等の低燃費自動車がある。これら低燃費自動車に共通した技術はモータであり、モータの高効率化が重要な技術となっている。

20

【0003】

一般に、モータは、固定子（ステータ）と回転子（ロータ）とで構成される。この固定子および回転子の鉄心に用いられる無方向性電磁鋼板には、高効率化のために鉄損が小さいことが求められている。

【0004】

しかし実用的には、モータ稼働時に固定子および回転子に付与される圧縮応力を考慮する必要がある。この圧縮応力は一般的に無方向性電磁鋼板の鉄損を劣化させる。そのため、固定子に用いられる無方向性電磁鋼板は、圧縮応力付与時における鉄損が良好であることが望ましい。

30

【0005】

例えば、特許文献 1 には、磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板に関する技術が開示されている。特許文献 2 には、モータ効率を向上できる無方向性電磁鋼板に関する技術が開示されている。特許文献 3 には、磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板に関する技術が開示されている。

【0006】

特許文献 1：特許第 5447167 号公報

特許文献 2：特許第 5716315 号公報

特許文献 3：国際公開第 2013/069754 号

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本開示は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、例えばモータのステータ鉄心およびロータ鉄心の素材として好適であり、圧縮応力付与時における鉄損の劣化が小さい無方向性電磁鋼板及びモータコア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】

【0008】

本開示の要旨は以下のとおりである。

[1] 質量%で、

50

C	: 0 . 0 0 6 % 以下、	
Si	: 1 . 0 % 以上 5 . 0 % 以下、	
sol . Al	: 2 . 5 % 未満、	
Mn	: 3 . 0 % 以下、	
P	: 0 . 3 0 % 以下、	
S	: 0 . 0 1 0 % 以下、	
N	: 0 . 0 1 0 % 以下、	
O	: 0 . 1 0 % 以下、	
Sn	: 0 ~ 0 . 2 0 %、	
Sb	: 0 ~ 0 . 2 0 %、	10
Ca	: 0 ~ 0 . 0 1 %、	
Cr	: 0 ~ 5 . 0 %、	
Ni	: 0 ~ 5 . 0 %、	
Cu	: 0 ~ 5 . 0 %、	
Ce	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
B	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Mg	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Ti	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
V	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Zr	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	20
Nd	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Bi	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
W	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Mo	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Nb	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
Y	: 0 ~ 0 . 1 0 %、	
残部: Fe および不純物、		
からなる化学組成を有し、		
平均結晶粒径が 3 0 μm 以上 2 0 0 μm 以下であり、		
鋼板の表面から板厚方向に板厚の 1 / 4 の位置において、{ 1 1 1 } < 0 1 1 > 集積度		30
が 2 . 0 0 以上 8 . 0 0 以下である無方向性電磁鋼板。		
[2] 質量%で、		
Sn	: 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 2 0 % 以下、	
Sb	: 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 2 0 % 以下、	
Ca	: 0 . 0 0 0 3 % 以上 0 . 0 1 % 以下、	
Cr	: 0 . 0 0 1 0 % 以上 5 . 0 % 以下、	
Ni	: 0 . 0 0 1 0 % 以上 5 . 0 % 以下、	
Cu	: 0 . 0 0 1 0 % 以上 5 . 0 % 以下、	
Ce	: 0 . 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
B	: 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	40
Mg	: 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
Ti	: 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
V	: 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
Zr	: 0 . 0 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
Nd	: 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
Bi	: 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
W	: 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
Mo	: 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	
Nb	: 0 . 0 0 0 1 % 以上 0 . 1 0 % 以下、及び	
Y	: 0 . 0 0 2 % 以上 0 . 1 0 % 以下、	50

からなる群から選択される 1 種又は 2 種以上を含む、[1] に記載の無方向性電磁鋼板。

[3] 前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、 $\{ 110 \} < 001 >$ 集積度が 1.00 以上である [1] 又は [2] に記載の無方向性電磁鋼板。

[4] 前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、 $\{ 111 \} < 112 >$ 集積度 / $\{ 111 \} < 011 >$ 集積度の値が 1.00 以下である [1] ~ [3] のいずれか 1 つに記載の無方向性電磁鋼板。

[5] 前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、 $\{ 411 \} < 148 >$ 集積度が 2.00 以下である [1] ~ [4] のいずれか 1 つに記載の無方向性電磁鋼板。

[6] 前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、 $\{ 411 \} < 011 >$ 集積度が 2.00 以下である [1] ~ [5] のいずれか 1 つに記載の無方向性電磁鋼板。

10

[7] 前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、板厚が 0.10 mm 以上 0.35 mm 以下である [1] ~ [6] のいずれか 1 つに記載の無方向性電磁鋼板。

[8] [1] ~ [7] のいずれか 1 つに記載の無方向性電磁鋼板が複数枚積層された構造を有するモータコア。

【発明の効果】

【0009】

本開示の上記態様によれば、例えば、モータのステータ鉄心およびロータ鉄心の素材として好適に利用可能であり、圧縮応力付与時における鉄損の劣化が小さい無方向性電磁鋼板及びモータコアを提供することができる。

20

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下に、本開示の無方向性電磁鋼板の好適な一実施形態について詳細に説明する。ただし、本開示は、下記実施形態に開示の構成のみに制限されることなく、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。また、本開示における数値限定範囲には、特に断りのない限り、下限値及び上限値としてそれぞれ記載されている数値がその範囲に含まれる。ただし、「超」または「未満」と示す数値は、その値が数値範囲に含まれない。各元素の含有量に関する「%」は、「質量%」を意味する。

また、本明細書中に段階的に記載されている数値範囲において、ある段階的な数値範囲の上限値は、他の段階的な記載の数値範囲の上限値に置き換えてもよく、また、実施例に示されている値に置き換えてもよい。

30

本明細書中に段階的に記載されている数値範囲において、ある段階的な数値範囲の下限値は、他の段階的な記載の数値範囲の下限値に置き換えてもよく、また、実施例に示されている値に置き換えてもよい。

また、各元素の含有量について、好ましい下限値と上限値が別々に記載されている場合、下限値と上限値を任意に組み合わせた数値範囲をその元素の好ましい含有量としてもよい。

なお、元素の含有量について「0 ~」又は「0 % 以上」として下限値が 0 % として記載されている場合、あるいは、上限値のみ記載されている場合は、その元素を含まなくてもよいことを意味する。

40

【0011】

【無方向性電磁鋼板】

本開示に係る無方向性電磁鋼板は、電気自動車やハイブリッド自動車などのモータの鉄心用として好適に用いることができる。ここで、無方向性電磁鋼板とはコイル製品だけでなく、鉄心を構成する鋼板（鉄心素材）も対象とする。

すなわち、本開示の各態様における「無方向性電磁鋼板」とは、鋼板製造メーカーで製造した状態のコイル状または切板状の「鋼板」だけでなく、例えば、需要家によって打抜き加工、積層などによりモータコア形状に加工され、モータコアを構成する「鋼板」も含まれる。

50

【 0 0 1 2 】

(化学組成)

まず、本開示に係る無方向性電磁鋼板の化学組成の限定理由について説明する。

【 0 0 1 3 】

本開示に係る無方向性電磁鋼板は、化学組成として、S i を含有し、必要に応じて選択元素を含有し、残部がF e 及び不純物からなる。以下、各元素について説明する。

【 0 0 1 4 】

C : 0 % 以上 0 . 0 0 6 % 以下

C (炭素) は、不純物として含有され、磁気特性を劣化させる元素である。したがって、C 含有量は 0 . 0 0 6 % 以下とする。好ましくは、0 . 0 0 3 % 以下である。C 含有量は、少ないことが好ましいので、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、工業的に含有量を 0 % にすることは容易ではないので、下限値を 0 . 0 0 0 5 % としてもよく、0 . 0 0 1 0 % としてもよい。

10

【 0 0 1 5 】

S i : 1 . 0 % 以上 5 . 0 % 以下

S i (ケイ素) は、鋼板の比抵抗を高めて鉄損を低減させるのに有効な元素である。したがって、S i 含有量は 1 . 0 % 以上とする。また、S i は、モータの鉄心用の無方向性電磁鋼板として、磁気的な板面内異方性を小さく且つ機械的な板面内異方性を小さくするのに有効な元素である。この場合、S i 含有量は、2 . 0 % 超 5 . 0 % 以下であることが好ましく、2 . 5 % 以上 5 . 0 % 以下であることがさらに好ましく、3 . 0 % 以上 5 . 0 % 以下であることがさらに好ましく、3 . 2 % 以上 5 . 0 % 以下であることがさらに好ましい。一方、過剰に含有させると磁束密度が著しく低下する。したがって、S i 含有量は 5 . 0 % 以下とする。磁束密度の低下を抑制する観点では、S i 含有量は、1 . 0 % 以上 4 . 5 % 以下であることが好ましく、1 . 0 % 以上 4 . 0 % 以下であることがより好ましく、1 . 0 % 以上 3 . 5 % 以下であることがさらに好ましい。

20

【 0 0 1 6 】

s o l . A l : 0 % 以上 2 . 5 % 未満

A l (アルミニウム) は、鋼板の比抵抗を高めて鉄損を低減させるのに有効な選択元素であるが、過剰に含有させると磁束密度が著しく低下する。このため、s o l . A l 含有量は 2 . 5 % 未満とする。s o l . A l 含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、s o l . A l 含有量を 0 . 0 3 % 以上とすることが好ましく、0 . 1 0 % 以上とすることがより好ましい。なお、s o l . A l は、酸可溶性アルミニウムを意味する。

30

【 0 0 1 7 】

ここで、S i および A l は、磁気的な板面内異方性を小さく且つ機械的な板面内異方性を小さくするのに有効な元素である。そのため、S i および s o l . A l の合計含有量は、2 . 0 % 超であることが好ましく、3 . 0 % 超であることがさらに好ましく、4 . 0 % 超であることがさらに好ましい。一方、S i および A l は、固溶強化能が高いので、過剰に含有させると冷間圧延が困難になる。したがって、S i と s o l . A l の合計含有量は 5 . 5 % 未満とすることが好ましい。

40

【 0 0 1 8 】

M n : 0 % 以上 3 . 0 % 以下

M n (マンガン) は、鋼板の比抵抗を高めて鉄損を低減させるのに有効な選択元素である。ただし、M n は、S i や A l に比べて合金コストが高いため、M n 含有量が多くなると経済的に不利となる。このため、M n 含有量は 3 . 0 % 以下とする。M n 含有量は好ましくは 2 . 7 % 以下であり、より好ましくは 2 . 5 % 以下である。M n 含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、M n 含有量は、0 . 0 0 1 0 % 以上であることが好ましく、0 . 0 0 3 0 % 以上であることがより好ましく、0 . 0 1 0 % 以上であることがさらに好ましい。

【 0 0 1 9 】

50

P : 0 % 以上 0 . 3 0 % 以下

P (リン) は、一般に不純物として含有される元素である。ただし、P は無方向性電磁鋼板の集合組織を改善して磁気特性を向上させる作用を有するので、必要に応じて含有させてもよい。しかしながら、P は固溶強化元素でもあるため、P 含有量が過剰になると、鋼板が硬質化して冷間圧延が困難になる。このため、P 含有量は 0 . 3 0 % 以下とする。P 含有量は、0 . 2 0 % 以下であることが好ましい。P 含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、P 含有量は、0 . 0 0 1 0 % 以上であることが好ましく、0 . 0 1 0 % 以上であることがより好ましく、0 . 0 1 5 % 以上であることがさらに好ましい。

【 0 0 2 0 】

10

S : 0 % 以上 0 . 0 1 0 % 以下

S (硫黄) は、不純物として含有され、鋼中の Mn と結合して微細な Mn S を形成し、焼鈍時の結晶粒の成長を阻害し、無方向性電磁鋼板の磁気特性を劣化させる。このため、S 含有量は 0 . 0 1 0 % 以下とする。S 含有量は、0 . 0 0 5 % 以下であることが好ましく、0 . 0 0 3 % 以下であることがさらに好ましい。S 含有量は、少ないことが好ましいので、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、工業的に含有量を 0 % にすることは容易ではないので、下限値を 0 . 0 0 0 1 % としてもよく、0 . 0 0 1 % としてもよい。

【 0 0 2 1 】

N : 0 % 以上 0 . 0 1 0 % 以下

20

N (窒素) は、不純物として含有され、Al と結合して微細な Al N を形成し、焼鈍時の結晶粒の成長を阻害し、磁気特性を劣化させる。このため、N 含有量を 0 . 0 1 0 % 以下とする。N 含有量は、0 . 0 0 5 % 以下であることが好ましく、0 . 0 0 3 % 以下であることがさらに好ましい。N 含有量は、少ないことが好ましいので、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、工業的に含有量を 0 % にすることは容易ではないので、下限値は、0 . 0 0 0 1 % 以上としてもよく、0 . 0 0 1 0 % 以上としてもよく、0 . 0 0 1 5 % 以上としてもよい。

【 0 0 2 2 】

O : 0 % 以上 0 . 1 0 % 以下

O (酸素) は、不純物として含有され、酸化物を形成して磁気特性を劣化させる。このため、O 含有量を 0 . 1 0 % 以下とする。O 含有量は 0 . 0 8 % 以下であることが好ましく、0 . 0 5 % 以下であることがより好ましく、0 . 0 1 0 % 以下であることがさらに好ましく、0 . 0 0 8 % 以下であることが特に好ましい。O 含有量は、少ないことが好ましいので、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、工業的に含有量を 0 % にすることは容易ではないので、下限値は、0 . 0 0 0 1 % 以上としてもよく、0 . 0 0 0 5 % 以上としてもよく、0 . 0 0 0 8 % 以上としてもよい。

30

【 0 0 2 3 】

本開示に係る無方向性電磁鋼板の化学組成は、上記の元素に加えて、選択元素として、Sn、Sb、Ca、Cr、Ni、Cu、及びCeの少なくとも1種を含有してもよい。例えば、これらの選択元素の含有量は、以下とすればよい。

40

【 0 0 2 4 】

Sn : 0 % 以上 0 . 2 0 % 以下

Sb : 0 % 以上 0 . 2 0 % 以下

Sn (錫) および Sb (アンチモン) は、無方向性電磁鋼板の集合組織を改善して磁気特性 (例えば、磁束密度) を向上させる作用を有する選択元素であるので、必要に応じて含有させてもよい。しかしながら、Sn および / または Sb を過剰に含有させると、鋼を脆化させて冷延破断を引き起こすことがあり、また磁気特性を劣化させることがある。このため、Sn および Sb の含有量はそれぞれ 0 . 2 0 % 以下とする。Sn および Sb の各含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が 0 % でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、Sn 含有量は、0 . 0 0 1 0 % 以上であることが好ましく

50

、0.01%以上であることがさらに好ましい。また、Sb含有量は、0.0010%以上であることが好ましく、0.002%以上であることが好ましく、0.01%以上であることがさらに好ましい。

【0025】

Ca：0%以上0.01%以下

Ca（カルシウム）は、粗大な硫化物を生成することで微細な硫化物（MnS、Cu₂S等）の析出を抑制するので介在物制御に有効な選択元素であり、適度に添加すると結晶粒成長性を向上させて磁気特性（例えば、鉄損）を向上させる作用を有する。しかしながら、Caを過剰に含有させると、上記作用による効果は飽和してコストの増加を招く。したがって、Ca含有量は0.01%以下とする。Ca含有量は、0.008%以下であることが好ましく、0.005%以下であることがさらに好ましい。Ca含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が0%でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、Ca含有量を0.0003%以上とすることが好ましい。Ca含有量は、0.001%以上であることが好ましく、0.002%以上であることがさらに好ましい。

10

【0026】

Cr：0%以上5.0%以下

Cr（クロム）は、固有抵抗を高めて、磁気特性（例えば、鉄損）を向上させる選択元素である。しかしながら、過剰に含有させると、飽和磁束密度を低下させることがあり、また上記作用による効果は飽和してコストの増加を招く。したがって、Cr含有量は5.0%以下とする。Cr含有量は、4.0%以下でもよく、0.5%以下であることが好ましく、0.1%以下であることがさらに好ましい。Cr含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が0%でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、Cr含有量は0.0010%以上であることが好ましい。

20

【0027】

Ni：0%以上5.0%以下

Ni（ニッケル）は、磁気特性（例えば、飽和磁束密度）を向上させる選択元素である。しかしながら、Niを過剰に含有させると、上記作用による効果は飽和してコストの増加を招く。したがって、Ni含有量は5.0%以下とする。Ni含有量は、4.0%以下でもよく、0.5%以下であることが好ましく、0.1%以下であることがさらに好ましい。Ni含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が0%でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、Ni含有量は0.0010%以上であることが好ましい。

30

【0028】

Cu：0%以上5.0%以下、

Cu（銅）は、鋼板強度を向上させる選択元素である。しかしながら、Cuを過剰に含有させると、飽和磁束密度を低下させることがあり、また上記作用による効果は飽和してコストの増加を招く。したがって、Cu含有量は5.0%以下とする。Cu含有量は、4.0%以下でもよく、0.1%以下であることが好ましい。Cu含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が0%でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、Cu含有量は0.0010%以上であることが好ましい。

40

【0029】

Ce：0%以上0.10%以下

Ce（セリウム）は、粗大な硫化物、酸硫化物を生成することで微細な硫化物（MnS、Cu₂S等）の析出を抑制し、粒成長性を良好にして鉄損を低減させる選択元素である。しかしながら、過剰に含有させると、硫化物および酸硫化物以外に酸化物も生成し、鉄損を劣化させることがあり、また上記作用による効果は飽和してコストの増加を招く。したがって、Ce含有量は0.10%以下とする。Ce含有量は、0.01%以下であることが好ましい。Ce含有量は、下限値を制限する必要がなく、下限値が0%でもよい。ただし、上記作用による効果をより確実に得るには、Ce含有量は0.001%以上であることが好ましい。Ce含有量は、0.002%以上であることがさらに好ましく、0.0

50

0.3%以上であることがさらに好ましく、0.005%以上であることがさらに好ましい。

【0030】

本開示に係る無方向性電磁鋼板の化学組成は、さらに選択元素として、例えば、B、Mg、Ti、V、Zr、Nd、Bi、W、Mo、Nb、及びYの少なくとも1種を含有してもよい。これらの選択元素の含有量は、公知の知見に基づいて制御すればよい。例えば、これらの選択元素の含有量は、以下とすればよい。

B : 0%以上0.10%以下、

Mg : 0%以上0.10%以下、

Ti : 0%以上0.10%以下、

V : 0%以上0.10%以下、

10

Zr : 0%以上0.10%以下、

Nd : 0%以上0.10%以下、

Bi : 0%以上0.10%以下、

W : 0%以上0.10%以下、

Mo : 0%以上0.10%以下、

Nb : 0%以上0.10%以下、

Y : 0%以上0.10%以下。

【0031】

また、本開示に係る無方向性電磁鋼板は、Siを1.0%以上5.0%以下含むほか、化学組成として、質量%で、

20

C : 0.0010%以上0.006%以下、

sol. Al : 0.10%以上2.5%未満、

Mn : 0.0010%以上3.0%以下、

P : 0.0010%以上0.30%以下、

S : 0.0001%以上0.010%以下、

N : 0.0015%超0.010%以下、

O : 0.0001%以上0.10%以下、

Sn : 0.0010%以上0.20%以下、

Sb : 0.0010%以上0.20%以下、

Ca : 0.0003%以上0.01%以下、

30

Cr : 0.0010%以上5.0%以下、

Ni : 0.0010%以上5.0%以下、

Cu : 0.0010%以上5.0%以下、

Ce : 0.001%以上0.10%以下、

B : 0.0001%以上0.10%以下、

Mg : 0.0001%以上0.10%以下、

Ti : 0.0001%以上0.10%以下、

V : 0.0001%以上0.10%以下、

Zr : 0.0002%以上0.10%以下、

Nd : 0.002%以上0.10%以下、

40

Bi : 0.002%以上0.10%以下、

W : 0.002%以上0.10%以下、

Mo : 0.002%以上0.10%以下、

Nb : 0.0001%以上0.10%以下、及び

Y : 0.002%以上0.10%以下、

の少なくとも1種を含有することが好ましい。

【0032】

B含有量は0.02%以下であることが好ましく、0.01%以下であることがより好ましい。

Mg含有量は0.01%以下であることが好ましく、0.005%以下であることがよ

50

り好ましい。

Ti含有量は0.100%以下であることが好ましく、0.002%以下であることがより好ましい。

V含有量は0.05%以下であることが好ましく、0.04%以下であることがより好ましい。

Zr含有量は0.08%以下であることが好ましく、0.06%以下であることがより好ましい。

Nd含有量は0.05%以下であることが好ましく、0.01%以下であることがより好ましい。

Bi含有量は0.05%以下であることが好ましく、0.01%以下であることがより好ましい。

10

W含有量は0.05%以下であることが好ましく、0.01%以下であることがより好ましい。

Mo含有量は0.05%以下であることが好ましく、0.01%以下であることがより好ましい。

Nb含有量は0.05%以下であることが好ましく、0.03%以下であることがより好ましい。

Y含有量は0.05%以下であることがより好ましく、0.01%以下であることがより好ましい。

【0033】

20

また、後述する効果を奏し得る観点から、各元素の含有量の好ましい下限値は下記のとおりである。

B含有量は0.0002%以上であることが好ましい。

Mg含有量は0.0004%以上であることが好ましい。

Ti含有量は0.001%以上であることが好ましい。

V含有量は0.002%以上であることが好ましい。

Zr含有量は0.002%以上であることが好ましい。

Nd含有量は0.002%以上であることが好ましい。

Bi含有量は0.002%以上であることが好ましい。

W含有量は0.002%以上であることが好ましい。

30

Mo含有量は0.002%以上であることが好ましい。

Nb含有量は0.002%以上であることが好ましい。

Y含有量は0.002%以上であることが好ましい。

【0034】

上記任意元素は、各元素による効果の違いにより下記A群～E群に分けられる。

[A群] Sn、Sb、Ca、Cr、Ni、Cu、Ce

集合組織、介在物制御、固有抵抗、飽和磁束密度、固溶強化等を通じて磁気特性及び/又は機械特性を向上させる効果を奏し得る元素

[B群] Ti、V、Zr、Nb

析出物の粗大化を通じて粒成長性を改善する効果を奏し得る元素

40

[C群] Mg、Nd、Bi、Y

硫化物、酸化物などの介在物制御の効果を奏し得る元素

[D群] B

窒化物制御により好適な効果を奏し得る元素

[E群]

機械特性向上に好適な効果を奏し得る元素

W、Mo

本開示に係る無方向性電磁鋼板は、上記A群～E群からなる群より選ばれる1種又は2種以上を含んでもよく、例えば、A群、B群、C群、D群、及び/又はE群の1種又は2種以上の元素を含んでもよい。

50

【0035】

上記した化学組成は、鋼の一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、化学組成は、ICP-AES (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry) を用いて測定すればよい。なお、sol. Al は、試料を酸で加熱分解した後の濾液を用いて ICP-AES によって測定すればよい。また、Si は ICP 発光分光分析法を用い、C および S は燃焼 - 赤外線吸収法を用い、N は不活性ガス融解 - 熱伝導度法を用い、O は不活性ガス融解 - 非分散型赤外線吸収法を用いて測定すればよい。

【0036】

なお、上記化学組成は、絶縁被膜等を含まない無方向性電磁鋼板の組成である。測定試料となる無方向性電磁鋼板が、表面に絶縁被膜等を有している場合は、これを除去した後に測定する。例えば、次の方法で絶縁被膜等を除去すればよい。まず、絶縁被膜等を有する無方向性電磁鋼板を、水酸化ナトリウム水溶液、硫酸水溶液、硝酸水溶液に順に浸漬後、洗浄する。最後に、温風で乾燥させる。これにより、絶縁被膜が除去された無方向性電磁鋼板を得ることができる。また、研削によって絶縁被膜等を除去してもよい。

【0037】

(結晶方位の特徴)

本開示に係る無方向性電磁鋼板は、鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、 $\{111\} < 011 >$ 集積度が 2.00 以上 8.00 以下 (以下、「鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において」の記載を省略する場合がある。) である。

なお、本開示における結晶方位の「集積度」とは、集合組織を表示する際に通常用いられる指標である。例えば、 $\{111\} < 011 >$ 集積度とは、結晶方位 $\{111\} < 011 >$ を有する結晶粒の存在頻度が、ランダムな方位分布を持つ組織 (この場合、集積度は 1) に対して何倍であるかを示す指標である。

本開示に係る無方向性電磁鋼板は、前記鋼板の表面から板厚方向に板厚の $1/4$ の位置において、 $\{111\} < 011 >$ 集積度が 2.00 以上 8.00 以下であることに加え、好ましくは、 $\{110\} < 001 >$ 集積度が 1.00 以上、 $\{111\} < 112 >$ 集積度 / $\{111\} < 011 >$ 集積度の値が 1.00 以下、 $\{411\} < 148 >$ 集積度が 2.00 以下、及び $\{411\} < 011 >$ 集積度が 2.00 以下の少なくとも 1 つを満たすことである。

【0038】

$\{111\} < 011 >$ 集積度が 2.00 以上 8.00 以下であることは本開示の無方向性電磁鋼板において、重要な特徴となる。 $\{111\} < 011 >$ 方位は、応力付与時における磁気特性が良好な方位である。

さらに、本発明者らは、下記に示す通り、 $\{111\} < 011 >$ と同時に $\{110\} < 001 >$ 方位、 $\{111\} < 112 >$ 方位、 $\{411\} < 148 >$ 方位、及び $\{411\} < 011 >$ 方位の集積度の少なくともいずれか 1 つを適切に制御することで、通常時および応力付与時における磁気特性を高いレベルで両立させることに成功した。

$\{110\} < 001 >$ 方位は磁気特性に優れた方位であり、集積度を 1.00 以上とすることが好ましい。

$\{111\} < 112 >$ 方位は応力付与時の磁気特性の劣化を最大限に回避可能な方位であるものの、集積度が高すぎると圧縮応力を付与していない状態での磁気特性が劣位となる。そのため、面指数が同じであり、磁気特性に与える影響がほぼ同一の方位である $\{111\} < 011 >$ との集積度のバランスに鑑みて $\{111\} < 112 >$ 集積度 / $\{111\} < 011 >$ 集積度の値 (集積度の比) を 1.00 以下とすることが望ましい。

$\{411\} < 148 >$ 方位は圧縮応力付与時に磁気特性が劣位になりやすい方位であり、集積度を 2.00 以下とすることが好ましい。

$\{411\} < 011 >$ 方位は圧縮応力付与時に磁気特性が劣位になりやすい方位であり、集積度を 2.00 以下とすることが好ましい。

【0039】

結晶方位は次の方法で測定できる。鋼板から切り出した $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 程度の鋼板サンプルに機械研磨および化学研磨を実施して片側の鋼板表面 $\sim 1/4\text{ t}$ 部の表面層を除去する。ここで $1/4\text{ t}$ 部とは、鋼板の厚さを t とした場合に、表面から $t \times 1/4$ の深さに相当する部分を意味する。この表面層の除去に際し、元の鋼板の $1/4\text{ t}$ 部が表面となるまで、それぞれ減厚した測定用試験片を作製する。なお、機械研磨と化学研磨により鋼板の片側表面 $\sim 1/4\text{ t}$ 部の表面層を除去する際、厳密に $1/4\text{ t}$ 部の面が出にくい場合があり、除去代はある程度許容される。本開示に係る無方向性電磁鋼板の平均結晶粒径($30\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{ m}$ 以下)を考慮し、鋼板表面から深さ $1/4\text{ t}$ 部に対して深さ方向に当該鋼板の平均結晶粒径分の領域の結晶方位の集積度は同程度とみなすことができる。好ましい板厚(0.10 mm 以上 0.35 mm 以下)を考慮して、機械研磨および化学研磨により、鋼板表面から深さ $1/4\text{ t} \pm 1/8\text{ t}$ 、すなわち、 $1/8\text{ t} \sim 3/8\text{ t}$ の範囲の面を出して結晶方位を測定すればよい。

10

【0040】

鋼板から採取した試料を研磨して表層の $1/4\text{ t}$ 部まで除去した後、電子線後方散乱回折(EBSD: Electron Back Scattering Diffraction)法により結晶方位を求めることができる。観察視野は1視野あたり $2400\text{ }\mu\text{ m}^2$ 以上 2.5 mm^2 以下が望ましく、2箇所以上5箇所以下の複数の視野について算出した各数値の平均値を採用することが望ましい。上記の観察結果より、結晶方位分布関数ODF(Orientation Determination Function)を作成する。この結晶方位分布関数に基づき、表面における各方位の集積度を得る。なお、ODFの展開次数は集積度の値の正確性を確保するため、18以上であることが望ましい。

20

【0041】

(磁気特性)

本開示においては、磁束密度 1.0 T 、周波数 400 Hz で励磁した際の鉄損 $W_{10/400}$ [W/kg]を用いて発明効果(圧縮応力付与時における鉄損の劣化抑制)を確認できる。鉄損は、励磁方向を鋼板の圧延方向(L方向)、圧延直角方向(C方向)および 45° 方向(D方向)としたときの鉄損をそれぞれ W_L 、 W_C および W_D として、 $(W_L + W_C + 2 \times W_D)/4$ で得られる板面内特性の平均値を用いる。本明細書ではこの特性を「全周平均(鉄損)」と呼称することがある。圧延方向は、無方向性電磁鋼板がコイル状で提供されていれば明確であるが、切板状である場合やモータ鉄心から取り出された状態においては、形状だけでは判別できない。この場合は、冷間圧延時に形成される鋼板表面の溝により圧延方向を決定できる。この方法は当業者であれば日常的に適用されている方法であり、その判断は困難ではない。

30

本開示においては、無負荷状態での各面内方向の鉄損値から計算される全周平均鉄損 W_n [W/kg]と、各励磁方向に 20 MPa の圧縮応力を負荷した状態での各面内方向の鉄損値から計算される全周平均鉄損 W_s [W/kg]の劣化代 $W_s - W_n$ により発明効果を確認する。本開示の無方向性電磁鋼板は、 $W_s - W_n$ が 8.50 以下であることを好ましい形態とする。 $W_s - W_n$ は 8.25 以下であることがさらに好ましく、 8.00 以下であることがさらに好ましい。

【0042】

40

各磁気特性は、JIS C 2556:2015に規定される単板磁気特性試験法(Single Sheet Tester: SST)により測定すればよい。なお、JISに規定されるサイズの試験片を採取することが難しい場合には、例えば、幅 $55\text{ mm} \times$ 長さ 55 mm となるように試験片を採取して、単板磁気特性試験法に準拠した測定を行ってもよい。その際、JIS C 2550:2011に規定されるエプスタイン試験器へ換算したエプスタイン相当値とすることが好ましい。

【0043】

(平均結晶粒径)

結晶粒径は、過大であっても過小であっても高周波条件での鉄損が劣化することがある。そのため、平均結晶粒径は、一般的な実用範囲とすれば良く、 $30\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{ m}$

50

以下とする。

【 0 0 4 4 】

平均結晶粒径は、J I S G 0 5 5 1 : 2 0 2 0 に規定される切断法により測定すればよい。例えば、板厚方向の縦断面組織写真において、板厚方向および圧延方向について切断法により測定した結晶粒径の平均値を用いればよい。この縦断面組織写真としては光学顕微鏡写真を用いることができ、例えば 5 0 倍の倍率で撮影した写真を用いればよい。

【 0 0 4 5 】

(板厚)

板厚は、基本的には薄いほど低鉄損となる。一般的な実用範囲とすれば良く、好ましくは 0 . 3 5 mm 以下とする。より好ましくは 0 . 3 0 mm 以下である。一方、過度の薄肉化は鋼板やモータの生産性を著しく低下させるので、板厚は 0 . 1 0 mm 以上とすることが好ましい。より好ましくは、0 . 1 5 mm 以上である。

10

【 0 0 4 6 】

板厚は、マイクロメーターにより測定すればよい。なお、測定試料となる無方向性電磁鋼板が、表面に絶縁被膜等を有している場合は、これを除去した後に測定する。絶縁被膜の除去方法は、上述の通りである。

【 0 0 4 7 】

[無方向性電磁鋼板の製造方法]

以下、本開示に係る無方向性電磁鋼板の製造方法の一例を説明する。なお、本開示に係る無方向性電磁鋼板は、上述の構成を有すれば、製造方法は特に限定されない。下記の製造方法は、本開示に係る無方向性電磁鋼板を製造するための一つの例であり、本開示に係る無方向性電磁鋼板の製造方法の好適な例である。

20

【 0 0 4 8 】

本開示に係る無方向性電磁鋼板の製造方法は、熱間圧延工程、第 1 冷間圧延工程、中間焼鈍工程、第 2 冷間圧延工程、仕上焼鈍工程をこの順で有し、これらの工程において特に下記条件 (A) ~ (E) を適用することが有効である。なお、以下の説明における温度は鋼板の表面温度を意味する。

(A) 熱間圧延後の熱処理：熱間仕上圧延の後、第 1 冷間圧延開始までの間に、9 0 0 以上の熱処理を実施しない。

(B) 第 1 冷間圧延工程：圧下率を 3 0 % 以上 8 5 % 以下とする。

30

(C) 中間焼鈍工程：5 0 0 から 6 5 0 までの平均昇温速度を 3 0 0 / 秒以上 1 0 0 0 / 秒以下とし、保持温度を 7 0 0 以上 1 1 0 0 以下とし、保持時間を 1 0 秒以上 3 0 0 秒以下とし、且つ 7 0 0 から 5 0 0 までの平均冷却速度を 2 5 / 秒以上とする。

(D) 第 2 冷間圧延工程：圧下率を 3 0 % 以上 7 5 % 以下、仕上板厚を 0 . 1 0 mm 以上 0 . 3 5 mm 以下とする。

(E) 仕上焼鈍工程：保持温度を 9 0 0 以上 1 2 0 0 以下とする。

【 0 0 4 9 】

以下、各工程について説明する。

【 0 0 5 0 】

40

(熱間圧延工程)

上記第 1 冷間圧延工程に供する熱延鋼板は、前述した化学組成を有する鋼塊または鋼片 (以下、「スラブ」ともいう。) に熱間圧延を施すことにより得ることができる。

【 0 0 5 1 】

熱間圧延においては、上記化学組成を有する鋼を、連続鋳造法あるいは鋼塊を分塊圧延する方法など一般的な方法によりスラブとし、加熱炉に装入して熱間圧延を施す。この際、スラブ温度が高い場合には加熱炉に装入しないで熱間圧延を行ってもよい。

熱間圧延の各種条件は特に限定されるものではない。一般的にはスラブ加熱温度を 9 5 0 ~ 1 2 5 0 、仕上温度を 7 0 0 ~ 1 0 0 0 、仕上板厚を 1 . 0 ~ 4 . 0 mm 程度の条件が採用される。

50

【 0 0 5 2 】

(熱延板に対する熱処理)

熱間圧延を終了した熱延板に、引き続き第 1 冷間圧延を施す。この際、第 1 冷間圧延工程に供する熱延鋼板は、熱間での仕上圧延後、900 以上の熱処理を実施しない。この制約は熱間加工で形成された組織を第 1 冷間圧延の前に大きく変化させないことを目的とするものである。熱延最終パスの出側温度が 900 以上となる場合、最終パス出側から冷却を開始し 900 未満に達するまでの間は 900 以上の温度域に滞留することとなるが、一般的には数秒以内に 900 未満まで冷却されるため、本開示ではこの間の滞留は無視できる。よって、本開示におけるこの熱処理は、熱延板巻取または熱延板焼鈍により施される熱履歴が対象となる。熱間仕上圧延が終了した後に、900 以上の熱処理を実施すると熱延板の粒径が大きくなることで、中間焼鈍工程後の組織が変化し、上記で規定した仕上焼鈍後の { 1 1 1 } < 0 1 1 > 集積度を満たさなくなる。そのため、熱延板巻取後に保熱することは好ましくなく、特に長時間の保持となる熱延巻取温度は、好ましくは 850 以下、さらに好ましくは 800 以下とすべきである。

10

【 0 0 5 3 】

(第 1 冷間圧延工程)

第 1 冷間圧延工程においては、上記化学組成を有する熱延鋼板に 30 % 以上 85 % 以下の圧下率 (累積圧下率) の冷間圧延を施す。

第 1 冷間圧延工程における圧下率が 30 % 未満もしくは 85 % 超であると、目的とする磁気特性を得ることができない場合がある。したがって、第 1 冷間圧延工程における圧下率は 30 % 以上 85 % 以下とする。

20

【 0 0 5 4 】

冷間圧延時の鋼板温度、圧延ロール径など、冷間圧延の上記以外の条件は特に限定されるものではなく、熱延鋼板の化学組成、目的とする鋼板の板厚などにより適宜選択するものとする。

【 0 0 5 5 】

(中間焼鈍工程)

中間焼鈍工程においては、上記第 1 冷間圧延工程により得られた冷延鋼板に、500 から 650 までの平均昇温速度を 300 / 秒以上 1000 / 秒以下とし、保持温度を 700 以上 1100 以下とし、保持時間を 10 秒以上 300 秒以下とし、さらに 700 から 500 までの平均冷却速度を 25 / 秒以上とする中間焼鈍を施す。

30

中間焼鈍工程における上記の各条件を満たさない場合、目的とする磁気特性を得ることができない場合がある。中間焼鈍の上記以外の条件は特に限定されるものではない。

なお、700 から 500 までの平均冷却速度は、上限値を制限する必要がないが、必要に応じて、上限値を 70 / 秒としてもよい。

【 0 0 5 6 】

保持温度は、850 以上であることが好ましい。また、保持時間は、180 秒以下であることが好ましい。さらに、700 から 500 までの平均冷却速度を 28 / 秒以上とすることが好ましい。特に、本開示の各条件を満たした上で、Si 含有量：2.0 % 超、500 から 650 までの平均昇温速度：300 / 秒以上、保持温度：850 以上、且つ保持時間：180 秒以下、700 から 500 までの平均冷却速度：33 / 秒以上を全て満足すれば、応力付与時における磁気特性が良好な無方向性電磁鋼板を得ることができる。

40

【 0 0 5 7 】

(第 2 冷間圧延工程)

第 2 冷間圧延工程においては、上記中間焼鈍工程により得られた中間焼鈍鋼板に 30 % 以上 75 % 以下の圧下率 (累積圧下率) の冷間圧延を施して 0.10 mm 以上 0.35 mm 以下の板厚とする。

【 0 0 5 8 】

第 2 冷間圧延工程における圧下率が 30 % 未満または 75 % 超であると、目的とする磁

50

気特性を得ることができない場合がある。したがって、第2冷間圧延工程における圧下率は30%以上75%以下とする。

【0059】

板厚は0.10mm以上0.35mm以下とすることが好ましい。板厚は、0.15mm以上0.30mm以下であることがより好ましい。

【0060】

冷間圧延時の鋼板温度、圧延ロール径など、冷間圧延の上記以外の条件は特に限定されるものではなく、鋼板の化学組成、目的とする鋼板の板厚などにより適宜選択するものとする。

【0061】

(仕上焼鈍工程)

仕上焼鈍工程においては、上記第2冷間圧延工程により得られた冷延鋼板に900 以上1200 以下の温度域に保持する仕上焼鈍を施す。この条件は特別なものではなく、一般的な無方向性電磁鋼板の製造において採用されているものである。

仕上焼鈍工程における仕上焼鈍温度が900 未満では、粒成長不足により平均結晶粒径が30μm未満となって十分な磁気特性が得られない場合がある。したがって、仕上焼鈍温度は900 以上とする。一方、仕上焼鈍温度が1200 超では、本開示の無方向性電磁鋼板が特徴としている{111}<011>方位以外の粒成長が優勢となり、粒成長が過度に進行してしまい平均結晶粒径が200μm超となって十分な磁気特性が得られない場合がある。したがって、仕上焼鈍温度は1200 以下とする。

900 以上1200 以下の温度域に保持する仕上焼鈍時間は特に規定せずともよいが、良好な磁気特性をより確実に得るには1秒間以上とすることが好ましい。一方、生産性の観点からは仕上焼鈍時間を120秒間以下とすることが好ましい。

仕上焼鈍の上記以外の条件は特に限定されるものではない。

なお、この仕上焼鈍は、鋼板製造者によって第2冷間圧延に引き続いて実施することが可能である。または、第2冷間圧延が完了した鋼板を出荷し、鋼板の需要家で、例えば打抜き加工、鋼板積層を行った後、コア形状での熱処理、いわゆる歪取焼鈍として実施することも可能である。

【0062】

(その他の工程)

上記熱間圧延の際に鋼板表面に生成したスケールを除去してから冷間圧延に供するため、熱延鋼板を酸洗することが好ましい。

上記第2冷間圧延工程後あるいは仕上焼鈍工程後に、一般的な方法に従って、有機成分のみ、無機成分のみ、あるいは有機無機複合物からなる絶縁被膜を鋼板表面に塗布形成するコーティング工程を行ってもよい。環境負荷軽減の観点から、クロムを含有しない絶縁被膜を塗布形成しても構わない。また、コーティング工程は、加熱及び加圧することにより接着能を発揮する絶縁コーティングを施す工程であってもよい。接着能を発揮するコーティング材料としては、アクリル樹脂、フェノール樹脂、エポキシ樹脂またはメラミン樹脂などを用いることができる。

【0063】

[用途]

本開示に係る無方向性電磁鋼板の用途は特に限定されないが、モータのステータ鉄心およびロータ鉄心の素材として好適である。本開示に係る無方向性電磁鋼板を所定の形状に打抜き加工し、複数枚積層した構造を有するモータコアとすることができる。このようなモータコアは圧縮応力付与時における鉄損の劣化が小さく、モータの高効率化に資することができる。

【実施例】

【0064】

以下、実施例について説明するが、本開示に係る無方向性電磁鋼板は以下の実施例に限定されるものではない。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

真空溶解炉で表 1 - 1 及び表 1 - 2 の鋼種に示す化学組成に調整したスラブ（インゴット）をそれぞれ製造した。なお、表 1 - 1 及び表 1 - 2 に示す成分において下線を付した含有量は、本開示の範囲外であることを意味し、残部は F e 及び不純物である。空欄は、その成分（元素）を意図的に添加していないことを意味する。

【 0 0 6 6 】

【表 1 - 1】

鋼種	化学組成 (mass%)													
	C	Si	Mn	sol.Al	S	P	N	O	B	Mg	Ca	Ti	V	Cr
A	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.02						
B	0.002	2.5	0.5	0.6	0.001	0.01	0.005	0.02						
C	0.002	2.0	1.0	0.2	0.001	0.01	0.005	0.02						
D	0.001	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.03	0.02					
E	0.002	3.3	0.7	0.4	0.004	0.02	0.005	0.02		0.01				
F	0.003	3.3	0.7	0.4	0.0008	0.05	0.005	0.07			0.002			
G	0.003	3.3	0.7	0.4	0.001	0.04	0.005	0.02				0.020		
H	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.01					0.04	
I	0.006	3.3	0.7	0.4	0.001	0.06	0.005	0.02						0.05
J	0.002	3.3	0.7	0.4	0.008	0.01	0.004	0.02						
K	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.08						
L	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.02	0.007	0.02						
M	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.007	0.005	0.02						
N	0.003	3.3	0.7	0.4	0.002	0.04	0.005	0.04						
O	0.003	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.02						
P	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.03	0.005	0.06						
Q	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.01						
R	0.004	3.3	0.7	0.4	0.001	0.006	0.008	0.008						
S	0.002	3.3	0.7	0.4	0.006	0.01	0.005	0.01						
T	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.04	0.008	0.02						
U	0.003	3.3	0.7	0.4	0.004	0.09	0.005	0.07						
V	0.002	1.1	0.9	2.4	0.001	0.01	0.003	0.08						
W	0.003	1.3	2.7	0.4	0.001	0.01	0.005	0.02						
X	<u>0.016</u>	3.3	0.7	0.4	0.003	0.01	0.003	0.06						
Y	<u>0.024</u>	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	0.004	0.02						
Z	0.002	3.3	0.7	0.4	<u>0.019</u>	0.01	0.005	0.04						
AA	0.002	3.3	0.7	0.4	<u>0.015</u>	0.01	0.009	0.04						
AB	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	<u>0.35</u>	0.006	0.02						
AC	0.003	3.3	0.7	0.4	0.001	<u>0.32</u>	0.005	0.02						
AD	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	<u>0.032</u>	0.02						
AE	0.002	3.3	0.7	0.4	0.004	0.01	<u>0.018</u>	0.02						
AF	0.005	3.3	0.7	0.4	0.004	0.03	0.005	<u>0.18</u>						
AG	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.02	0.005	<u>0.16</u>						
A1	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.001	0.002	0.002						
A2	0.002	2.5	0.5	0.6	0.001	0.01	0.001	0.01						
A3	0.002	2.0	1.0	0.2	0.002	0.01	0.002	0.002						
A4	0.001	3.1	0.7	0.4	0.001	0.01	0.0005	0.003	0.005					
A5	0.0005	3.3	0.6	0.4	0.004	0.02	0.003	0.002		0.002				
A6	0.003	3.3	0.7	0.4	0.0008	0.05	0.002	0.007			0.002			
A7	0.003	3.3	0.8	0.4	0.001	0.04	0.0005	0.002				0.005		
A8	0.002	3.3	0.7	0.1	0.001	0.01	0.002	0.001					0.005	
A9	0.006	3.3	0.7	0.4	0.0008	0.06	0.001	0.002						0.05
A10	0.002	3.3	0.7	0.4	0.008	0.01	0.002	0.002				0.080		
A11	0.002	3.2	0.9	0.4	0.001	0.01	0.002	0.008						
A12	0.003	3.3	0.7	0.4	0.001	0.02	0.001	0.002						
A13	0.002	3.1	0.8	0.1	0.001	0.007	0.002	0.002						
A14	0.003	2.0	0.7	0.4	0.002	0.04	0.002	0.004						3.0
A15	0.003	2.0	0.7	0.4	0.001	0.001	0.002	0.002						
A16	0.002	2.0	0.7	0.4	0.001	0.03	0.0015	0.006						
A17	0.002	3.3	1.1	0.4	0.001	0.01	0.005	0.001						
A18	0.004	4.5	0.03	0.1	0.001	0.006	0.002	0.0008						
A19	0.002	3.3	0.7	0.4	0.006	0.01	0.008	0.0015						
A20	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.04	0.002	0.002						
A21	0.003	3.3	0.7	0.4	0.003	0.09	0.005	0.007						
A22	0.002	1.1	0.9	2.4	0.001	0.01	0.003	0.008						
A23	0.003	1.3	2.7	0.03	0.001	0.02	0.005	0.002						
A24	<u>0.016</u>	3.3	0.7	0.4	0.003	0.01	0.002	0.006						
A25	<u>0.024</u>	3.3	0.7	0.03	0.001	0.01	0.002	0.002						
A26	0.002	3.3	0.7	0.4	<u>0.019</u>	0.01	0.005	0.004						
B1	0.002	3.3	0.7	0.4	<u>0.015</u>	0.01	0.009	0.004						
B2	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	<u>0.35</u>	0.006	0.002						
B3	0.003	3.3	0.7	0.01	0.001	<u>0.32</u>	0.005	0.002						
B4	0.002	3.3	0.7	0.4	0.001	0.01	<u>0.032</u>	0.002						
B5	0.002	3.3	0.7	0.4	0.004	0.01	<u>0.018</u>	0.002						
B6	0.005	3.3	0.7	0.4	0.004	0.03	0.005	<u>0.32</u>						
B7	0.002	3.3	0.7	0.5	0.001	0.02	0.005	<u>0.25</u>						

【 0 0 6 7 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

表1-2

鋼種	化学組成 (mass%)											
	Ni	Cu	Zr	Sn	Sb	Ce	Nd	Bi	W	Mo	Nb	Y
A												
B												
C												
D												
E												
F												
G												
H												
I												
J	0.02											
K		0.04										
L			0.05									
M				0.04								
N					0.01							
O						0.01						
P							0.02					
Q								0.01				
R									0.03			
S										0.02		
T											0.02	
U												0.02
V							0.03					
W								0.02				
X												
Y												
Z												
AA												
AB												
AC												
AD												
AE												
AF												
AG												
A1												
A2												
A3												
A4												
A5												
A6												
A7												
A8												
A9												
A10	0.02											
A11		0.04										
A12			0.005									
A13				0.01								
A14					0.01							
A15	3.0					0.004						
A16		3.0					0.005					
A17								0.005				
A18									0.005			
A19										0.005		
A20											0.005	
A21												0.005
A22							0.03					
A23								0.02				
A24												
A25												
A26												
B1												
B2												
B3												
B4												
B5												
B6												
B7												

【 0 0 6 8 】

表 1 - 1 及び表 1 - 2 に化学組成を示すスラブ（鋼種 A ~ B 7）を加熱炉に挿入して 1 1 0 0 に加熱した後、板厚 2 . 0 mm とする熱間圧延を施し、熱延鋼板を製造した。仕上温度 8 5 0 、巻取温度 6 0 0 を基本とした。但し、一部の鋼板は、板厚、仕上温度、巻取温度などのいずれかの条件を変更した。例えば、No . a 1 6 は、仕上温度 9 3 0 、巻取温度 9 0 0 としている。また、No . k 1 及び v 1 は、仕上温度 1 0 0 0 、巻取温度 8 0 0 とし、No . n 1 は、仕上温度 8 0 0 、巻取温度 3 0 0 としている。

これらの熱延鋼板について、熱延板焼鈍、第 1 冷間圧延、中間焼鈍、第 2 冷間圧延、仕上焼鈍を順次実施した。各条件は表 2 - 1、表 3 - 1、表 4 - 1、表 5 - 1 に示す通り

である。

【 0 0 6 9 】

また、今回の実施例は、鋼板の表面に絶縁被膜を形成せずに実施した。

【 0 0 7 0 】

[平均結晶粒径の測定]

各鋼板について、仕上焼鈍後に、前述した切断法により板厚方向および圧延方向の縦断面を 5 0 倍で観察した光学顕微鏡写真を用いて結晶粒径を測定し、平均結晶粒径を求めた。

【 0 0 7 1 】

[集合組織の測定]

各鋼板から切り出した 3 0 m m × 3 0 m m 程度の鋼板サンプルに機械研磨および化学研
磨を実施して元の鋼板の 1 / 4 t 部が表面となるまで、それぞれ減厚した測定用試験片を
作製した。得られた試験片について E B S D で 1 視野当たり 9 0 0 μ m × 2 5 0 0 μ m で
観察し、5箇所観察した。観察結果より、結晶方位分布関数 O D F を作成し、結晶方位分
布関数に基づき、表面における各方位の集積度を得た。各方位の集積度は、各視野につい
て算出した数値の平均値を採用した。

10

【 0 0 7 2 】

[磁気特性の測定]

各鋼板の磁気特性について、S S T により測定した。磁束密度 1 . 0 T、周波数 4 0 0
H z で励磁した際の鉄損 $W_{10} / 400$ [W / k g] として、無負荷状態での鉄損 W_n [
W / k g]、励磁方向に 2 0 M P a の圧縮応力を負荷した状態での鉄損 W_s [W / k g]
をそれぞれ測定し、 $W_s - W_n$ を求めた。 $W_s - W_n$ が 8 . 5 0 以下である場合に圧縮応
力付与時における鉄損が良好であると判断した。

20

各鋼板の製造条件を表 2 - 1、表 3 - 1、表 4 - 1、表 5 - 1 に、集合組織、平均結晶
粒径、磁気特性を表 2 - 2、表 3 - 2、表 4 - 2、表 5 - 2 にそれぞれ示す。なお、下線
は本開示の範囲外又は前述した好ましい製造方法の範囲外であることを意味する。

【 0 0 7 3 】

30

40

50

【表 2 - 1】

No. 鋼種		製造条件													
		熱延板焼鈍			第1冷間圧延		中間焼鈍				第2冷間圧延		仕上焼鈍		
		熱延鋼板板厚	熱延巻取温度	保持温度	保持時間	圧下率	中間板厚	昇温速度	保持温度	保持時間	冷却速度	圧下率	仕上板厚	保持温度	保持時間
		mm	℃	℃	秒	%	mm	℃/秒	℃	秒	℃/秒	%	mm	℃	秒
a1	A	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	1000	30
a2	A	2.00	600	800	20	60.0	0.8	500	950	60	30	68.8	0.25	1000	30
a3	A	2.00	600	800	60	80.0	0.4	500	1000	60	30	37.5	0.25	1000	30
a4	A	2.00	600	800	60	60.0	0.8	500	950	20	30	68.8	0.25	1000	30
a5	A	2.00	600	800	60	80.0	0.4	500	1000	45	30	37.5	0.25	1000	30
a6	A	2.00	600	800	60	80.0	0.4	500	1000	30	30	37.5	0.25	1000	30
a7	A	2.00	600	800	60	60.0	0.8	500	900	30	30	68.8	0.25	1000	30
a8	A	2.00	600	800	60	60.0	0.8	<u>7</u>	900	30	<u>7</u>	68.8	0.25	1000	30
a9	A	2.00	600		-	75.0	0.5	<u>2</u>	950	30	<u>7</u>	50	0.25	1000	30
a10	A	2.00	600		-	60.0	0.8	<u>2</u>	950	30	<u>7</u>	68.8	0.25	1000	30
a11	A	2.00	600	<u>1000</u>	60	<u>25.0</u>	1.5	500	1000	60	30	<u>80</u>	0.25	1000	30
a12	A	2.00	600	<u>1000</u>	60	60.0	0.8	500	950	30	30	68.8	0.25	1000	30
a13	A	2.00	600	<u>1000</u>	60	60.0	0.8	500	1000	60	30	68.8	0.25	1000	30
a14	A	2.00	600		-	<u>20.0</u>	1.6	500	950	60	30	<u>84</u>	0.25	1000	30
a15	A	2.00	600	<u>1000</u>	60	75.0	0.5	500	975	30	30	50	0.25	1000	30
a16	A	2.00	<u>900</u>		-	60.0	0.8	500	950	30	30	68.8	0.25	1000	30
a17	A	2.00	600		-	75.0	0.5	500	1000	30	30	50	0.25	<u>1210</u>	60
a18	A	2.00	600		-	75.0	0.5	500	1000	30	30	50	0.25	<u>700</u>	30
a19	A	2.00	600		-	<u>87.0</u>	0.26	500	950	30	30	<u>3.8</u>	0.25	1000	30
a20	A	2.00	600		-	75.0	0.5	<u>1050</u>	1050	30	30	-	-	-	-
a21	A	2.00	600		-	75.0	0.5	500	<u>650</u>	<u>5</u>	30	50	0.25	1000	30
a22	A	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	<u>890</u>	30
a23	A	2.00	600		-	75.0	0.5	500	<u>1150</u>	30	30	-	-	-	-
b1	B	2.00	600	800	60	60.0	0.8	500	950	60	30	68.8	0.25	1000	30
b2	B	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	1000	30
b3	B	2.00	600	<u>1000</u>	60	60.0	0.8	500	1000	60	30	68.8	0.25	1000	30
b4	B	2.00	600	<u>1000</u>	60	75.0	0.5	500	975	30	30	50	0.25	1000	30
b5	B	2.00	600		-	75.0	0.5	<u>2</u>	950	30	<u>7</u>	50	0.25	1000	30
c1	C	2.00	600	800	60	60.0	0.8	500	950	60	30	68.8	0.25	1000	30
c2	C	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	1000	30
c3	C	2.00	600		-	<u>20.0</u>	1.6	500	950	60	30	<u>84</u>	0.25	1000	30
c4	C	2.00	600	<u>1000</u>	60	75.0	0.5	500	975	30	30	50	0.25	1000	30
c5	C	2.00	600		-	75.0	0.5	<u>2</u>	950	30	<u>7</u>	50	0.25	1000	30

表2-1

【 0 0 7 4 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 2】

表2-2													
鋼板特性													
No.	集合組織の集積度						磁性特性 W10/400					備考	
	{111}<011>	{111}<112>	{111}<112>/ {111}<011>	{110}<001>	{411}<148>	{411}<011>	全周平均		鉄損 劣化	平均結晶 粒徑			
							[20MPa 付与]	Ws		Ws	Ws-Wn		
Wn	W/kg	W/kg	W/kg	μm									
a1	5.59	3.11	0.56	1.45	1.37	0.22	12.38	20.29	7.91	73	実施例		
a2	2.77	6.51	2.35	0.39	3.44	0.13	12.43	20.60	8.17	132	実施例		
a3	2.10	0.66	0.29	0.35	3.19	1.32	12.20	20.31	8.11	150	実施例		
a4	2.21	4.51	2.04	1.61	2.05	1.11	12.50	20.76	8.26	82	実施例		
a5	2.20	0.66	0.29	1.21	2.23	1.32	12.32	20.42	8.10	121	実施例		
a6	2.30	0.66	0.29	3.44	0.42	1.32	12.33	20.41	8.09	94	実施例		
a7	2.31	2.82	1.22	0.67	2.42	1.16	12.34	20.63	8.29	84	実施例		
a8	1.54	2.95	1.92	0.87	2.12	1.10	12.34	20.93	8.59	84	比較例		
a9	1.39	2.97	2.14	0.32	3.45	0.33	12.35	20.92	8.57	83	比較例		
a10	1.76	2.82	1.60	1.67	2.00	1.16	12.34	20.86	8.52	84	比較例		
a11	0.90	3.01	3.35	0.35	3.19	1.22	12.26	20.81	8.54	198	比較例		
a12	1.76	2.82	1.60	1.67	2.00	1.16	12.36	20.94	8.58	84	比較例		
a13	0.91	2.06	2.26	0.89	1.87	1.10	12.33	21.01	8.68	142	比較例		
a14	1.39	8.94	6.42	0.02	2.85	0.54	12.84	21.65	8.81	118	比較例		
a15	1.42	1.44	0.71	4.21	1.92	0.95	12.25	21.00	8.74	95	比較例		
a16	0.99	2.06	2.08	2.12	1.68	1.15	12.52	21.28	8.75	120	比較例		
a17	0.90	3.05	3.40	0.34	3.20	1.19	12.45	21.54	9.09	261	比較例		
a18	2.97	2.06	0.69	2.12	1.68	1.15	19.42	31.12	11.70	26	比較例		
a19	1.50	3.02	2.01	0.75	2.30	0.15	13.45	22.35	8.90	95	比較例		
a20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例		
a21	8.50	5.60	0.66	0.85	1.41	0.25	14.10	22.78	8.68	105	比較例		
a22	1.75	2.12	1.21	0.59	0.51	1.15	13.55	22.15	8.60	60	比較例		
a23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例		
b1	2.52	5.71	2.27	0.39	3.44	0.13	12.88	20.96	8.07	126	実施例		
b2	5.12	2.59	0.51	1.61	1.12	0.41	12.83	20.84	8.01	83	実施例		
b3	0.78	2.12	6.42	0.78	1.92	1.43	12.91	21.59	8.68	143	比較例		
b4	1.21	1.44	0.71	4.21	1.92	0.82	12.69	21.68	8.96	95	比較例		
b5	1.50	2.74	1.83	0.41	3.22	0.19	12.91	21.79	8.88	76	比較例		
c1	2.39	5.43	2.27	0.53	3.83	0.32	13.42	21.83	8.41	93	実施例		
c2	4.59	2.58	0.56	1.49	1.37	0.42	13.20	21.65	8.44	79	実施例		
c3	1.23	2.31	6.42	0.10	2.48	0.37	13.68	22.68	8.99	128	比較例		
c4	1.32	1.71	0.71	2.98	1.72	0.91	13.18	22.28	9.10	132	比較例		
c5	1.12	2.32	2.14	0.31	3.15	0.29	13.50	22.98	9.48	79	比較例		

表2-2

【 0 0 7 5 】

10

20

30

40

50

【表 3 - 1】

No.		鋼種	製造条件																	
			熱延鋼板厚			熱延卷		熱延板焼鈍		第1冷間圧延		中間焼鈍				第2冷間圧延		仕上焼鈍		
			mm	℃	取温度	保持温度	保持時間	秒	℃	圧下率	中間板厚	mm	℃/秒	保持温度	保持時間	℃/秒	圧下率	仕上板厚	保持温度	保持時間
d1		D	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
e1		E	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
f1		F	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	75	50	0.25	1150	30	
g1		G	2.00	600			-		75.0	0.5	1000	250	1050	30	30	50	0.25	1000	30	
h1		H	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
i1		I	2.00	600			-		75.0	0.5	400	30	950	30	70	50	0.25	1000	30	
j1		J	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
k1		K	2.00	800			-		75.0	0.5	300	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
l1		L	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
m1		M	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	1050	30	30	50	0.25	1000	30	
n1		N	2.00	300			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
o1		O	2.00	600			-		75.0	0.5	500	150	950	30	30	50	0.25	1000	30	
p1		P	2.00	600			-		75.0	0.5	800	30	950	30	70	50	0.25	1000	30	
q1		Q	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
r1		R	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
s1		S	2.00	600			-		75.0	0.5	1000	30	800	30	30	50	0.25	1000	30	
t1		T	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
u1		U	2.00	600			-		75.0	0.5	500	100	950	30	50	50	0.25	950	30	
v1		V	2.00	800			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
w1		W	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
x1		X	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
y1		Y	2.00	600			-		75.0	0.5	300	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
z1		Z	2.00	600			-		75.0	0.5	500	15	950	30	30	50	0.25	1000	30	
aa1		AA	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	800	30	30	50	0.25	1000	30	
ab1		AB	2.00	600			-		75.0	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ac1		AC	2.00	600			-		75.0	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ad1		AD	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
ae1		AE	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
af1		AF	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	
ag1		AG	2.00	600			-		75.0	0.5	500	30	950	30	30	50	0.25	1000	30	

表3-1

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

【表 3 - 2】

鋼板特性															
No.	集合組織の集積度						磁気特性 W10/400					備考			
	{111}<011>	{111}<112> {111}<011>	{111}<112> {111}<011>	{110}<001> {110}<011>	{411}<148> {411}<011>	{411}<011>	全周平均		[20MPa 付与]	鉄損 劣化	平均結晶 粒径				
							Wn	Ws							
							W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	Wn		Ws	W/kg	W/kg
							μm								
d1	5.49	2.98	0.54	1.65	1.19	0.08	12.38	20.28	7.90		75	実施例			
e1	5.51	3.10	0.56	1.58	1.28	0.23	12.31	20.24	7.94		79	実施例			
f1	5.23	3.02	0.58	1.38	0.91	0.29	12.35	20.25	7.90		85	実施例			
g1	5.71	2.88	0.50	1.39	0.99	0.13	12.32	20.31	8.00		70	実施例			
h1	5.49	3.34	0.61	1.58	1.41	0.29	12.35	20.31	7.96		79	実施例			
i1	5.03	3.18	0.63	1.42	1.09	0.19	12.37	20.19	7.82		83	実施例			
j1	5.43	3.32	0.61	1.71	1.13	0.31	12.38	20.21	7.83		75	実施例			
k1	5.66	3.54	0.63	1.50	1.22	0.08	12.37	20.24	7.87		78	実施例			
l1	5.43	3.20	0.59	1.44	1.15	0.12	12.36	20.22	7.86		81	実施例			
m1	5.49	3.18	0.58	1.48	1.50	0.03	12.28	20.25	7.97		79	実施例			
n1	5.39	3.07	0.57	1.38	1.01	0.32	12.34	20.29	7.95		77	実施例			
o1	5.44	2.89	0.53	1.61	1.02	0.14	12.39	20.27	7.89		74	実施例			
p1	5.54	2.96	0.53	1.72	1.33	0.11	12.35	20.25	7.90		72	実施例			
q1	5.86	3.43	0.59	1.56	0.78	0.30	12.41	20.23	7.81		73	実施例			
r1	5.71	3.20	0.56	1.33	0.89	0.19	12.36	20.24	7.88		70	実施例			
s1	5.65	3.19	0.56	1.66	1.15	0.24	12.34	20.29	7.94		77	実施例			
t1	5.33	3.38	0.63	1.51	1.00	0.41	12.33	20.33	8.00		74	実施例			
u1	5.49	2.98	0.54	1.93	0.79	0.09	12.41	20.18	7.77		75	実施例			
v1	5.49	3.21	0.58	1.20	0.93	0.15	12.36	20.23	7.87		77	実施例			
w1	5.50	3.41	0.62	1.58	0.88	0.19	12.36	20.21	7.85		76	実施例			
x1	5.29	3.20	0.60	1.49	0.97	0.23	15.01	25.01	10.00		34	比較例			
y1	5.41	3.19	0.59	1.39	1.48	0.51	15.71	25.89	10.18		38	比較例			
z1	5.67	3.76	0.66	1.87	1.20	0.34	15.14	25.11	9.97		36	比較例			
aa1	5.43	3.76	0.69	1.43	0.89	0.44	15.78	25.79	10.01		37	比較例			
ab1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例			
ac1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例			
ad1	5.71	3.38	0.59	1.87	1.21	0.24	15.10	26.12	11.02		38	比較例			
ae1	4.98	3.65	0.73	1.90	1.12	0.45	14.76	25.89	11.13		39	比較例			
af1	5.12	3.20	0.63	1.88	1.32	0.32	15.11	26.11	11.00		44	比較例			
ag1	5.89	3.71	0.63	1.78	1.12	0.22	15.76	25.89	10.13		47	比較例			

表3-2

【 0 0 7 7 】

10

20

30

40

50

【表 4 - 1】

No.	鋼種	製造条件																
		熱延鋼板厚		熱延巻取温度	熱延板焼鈍		第1冷間圧延		中間焼鈍				第2冷間圧延		仕上焼鈍			
		mm	℃	保持温度	保持時間	秒	%	mm	圧下率	中間板厚	昇温速度	保持温度	保持時間	冷却速度	圧下率	仕上板厚	保持温度	保持時間
xa1	A1	2.00	600		-		75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	1000	30	秒	
xa2	A1	2.00	600	800	20		60.0	0.8	500	950	60	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xa3	A1	2.00	600	800	60		80.0	0.4	500	1000	60	30	37.5	0.25	1000	30	30	
xa4	A1	2.00	600	800	60		60.0	0.8	500	950	20	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xa5	A1	2.00	600	800	60		80.0	0.4	500	1000	45	30	37.5	0.25	1000	30	30	
xa6	A1	2.00	600	800	60		80.0	0.4	500	1000	30	30	37.5	0.25	1000	30	30	
xa7	A1	2.00	600	800	60		60.0	0.8	500	900	30	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xa8	A1	2.00	600	800	60		60.0	0.8	7	900	30	7	68.8	0.25	1000	30	30	
xa9	A1	2.00	600		-		75.0	0.5	2	950	30	7	50	0.25	1000	30	30	
xa10	A1	2.00	600		-		60.0	0.8	2	950	30	7	68.8	0.25	1000	30	30	
xa11	A1	2.00	600	1000	60		25.0	1.5	500	1000	60	30	80	0.25	1000	30	30	
xa12	A1	2.00	600	1000	60		60.0	0.8	500	950	30	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xa13	A1	2.00	600	1000	60		60.0	0.8	500	1000	60	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xa14	A1	2.00	600		-		20.0	1.6	500	950	60	30	84	0.25	1000	30	30	
xa15	A1	2.00	600	1000	60		75.0	0.5	500	975	30	30	50	0.25	1000	30	30	
xa16	A1	2.00	900		-		60.0	0.8	500	950	30	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xa17	A1	2.00	600		-		75.0	0.5	500	1000	30	30	50	0.25	1210	60	60	
xa18	A1	2.00	600		-		75.0	0.5	500	1000	30	30	50	0.25	700	30	30	
xb1	A2	2.00	600	800	60		60.0	0.8	500	950	60	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xb2	A2	2.00	600		-		75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	1000	30	30	
xb3	A2	2.00	600	1000	60		60.0	0.8	500	1000	60	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xb4	A2	2.00	600	1000	60		75.0	0.5	500	975	30	30	50	0.25	1000	30	30	
xb5	A2	2.00	600		-		75.0	0.5	2	950	30	7	50	0.25	1000	30	30	
xc1	A3	2.00	600	800	60		60.0	0.8	500	950	60	30	68.8	0.25	1000	30	30	
xc2	A3	2.00	600		-		75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25	1000	30	30	
xc3	A3	2.00	600		-		20.0	1.6	500	950	60	30	84	0.25	1000	30	30	
xc4	A3	2.00	600	1000	60		75.0	0.5	500	975	30	30	50	0.25	1000	30	30	
xc5	A3	2.00	600		-		75.0	0.5	2	950	30	7	50	0.25	1000	30	30	

【 0 0 7 8 】

10

20

30

40

50

【表 4 - 2】

鋼板特性														
No.	集合組織の集積度							磁気特性 W10/400					備考	
	{111}<011>	{111}<112>	{111}<112>/ {111}<011>	{110}<001>	{411}<148>	{411}<011>	全周平均		[20MPa 付与]		平均結晶 粒徑			
							Wn	Ws	Ws-Wn	W/kg		W/kg		μm
xa1	5.23	3.21	0.61	1.31	1.29	0.24	12.21	20.28	8.07	76	実施例			
xa2	2.57	6.21	2.35	0.27	3.33	0.31	12.33	20.57	8.24	135	実施例			
xa3	2.03	0.75	0.29	0.33	3.22	1.12	12.02	20.31	8.29	155	実施例			
xa4	2.09	4.31	2.06	1.49	2.09	2.11	12.29	20.75	8.46	87	実施例			
xa5	2.12	0.72	0.29	1.31	2.31	1.03	12.23	20.41	8.18	127	実施例			
xa6	2.34	0.73	0.31	3.44	0.51	2.12	12.11	20.39	8.28	99	実施例			
xa7	2.34	2.85	1.22	0.45	2.66	2.01	12.21	20.61	8.40	88	実施例			
xa8	1.48	2.77	1.87	0.73	2.23	1.21	11.99	20.89	8.90	88	比較例			
xa9	1.23	2.65	2.15	0.36	3.58	0.41	12.21	20.89	8.68	88	比較例			
xa10	1.64	2.91	1.77	1.78	1.95	1.22	12.11	20.88	8.77	90	比較例			
xa11	0.87	3.21	3.69	0.31	3.23	1.23	12.03	20.80	8.77	201	比較例			
xa12	1.72	2.71	1.58	1.49	1.93	1.01	12.12	20.89	8.77	89	比較例			
xa13	0.88	2.41	2.74	0.72	1.98	1.01	12.11	20.98	8.87	146	比較例			
xa14	1.36	9.10	6.42	0.07	2.71	0.41	12.23	21.63	9.40	124	比較例			
xa15	1.31	1.45	0.71	4.03	1.89	0.82	12.01	20.98	8.97	103	比較例			
xa16	0.94	2.11	2.24	2.31	1.56	2.34	12.10	21.88	9.78	128	比較例			
xa17	0.86	3.21	3.73	0.47	3.32	1.34	12.11	21.53	9.42	250	比較例			
xa18	2.59	2.11	0.81	2.31	1.59	2.12	20.11	31.10	10.99	28	比較例			
xb1	2.41	5.82	2.41	0.44	3.41	0.06	12.31	20.59	8.28	130	実施例			
xb2	5.32	2.35	0.44	1.72	1.23	0.52	12.71	20.81	8.10	90	実施例			
xb3	0.69	2.23	6.42	0.69	1.89	2.11	12.65	21.48	8.83	149	比較例			
xb4	1.28	1.31	0.71	4.11	1.90	0.71	12.49	21.64	9.15	99	比較例			
xb5	1.47	2.56	1.74	0.53	3.21	0.21	12.78	21.71	8.93	80	比較例			
xc1	2.27	5.23	2.30	0.31	3.78	0.41	13.23	21.41	8.18	95	実施例			
xc2	4.49	2.31	0.51	1.54	1.32	0.55	13.11	21.59	8.48	85	実施例			
xc3	1.34	2.44	6.42	0.23	2.39	0.32	13.48	22.63	9.15	131	比較例			
xc4	1.41	1.84	0.71	2.79	1.68	0.81	12.98	22.12	9.14	137	比較例			
xc5	1.21	2.41	2.14	0.43	3.09	0.41	13.22	22.79	9.57	86	比較例			

表 4-2

【 0 0 7 9 】

10

20

30

40

50

【表 5 - 1】

No.	鋼種	製造条件											
		熱延板焼鈍			第1冷間圧延			中間焼鈍			第2冷間圧延		
		熱延鋼 板板厚	熱延巻 取温度	保持温度 ℃	保持時間 秒	压下率 %	中間板厚 mm	昇温速度 ℃/秒	保持温度 ℃	保持時間 秒	冷却速度 ℃/秒	压下率 %	仕上板厚 mm
d2	A4	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
e2	A5	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
f2	A6	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	60	50	0.25
g2	A7	2.00	600		-	75.0	0.5	1000	1050	250	30	50	0.25
h2	A8	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
i2	A9	2.00	600		-	75.0	0.5	400	950	30	70	50	0.25
j2	A10	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
k2	A11	2.00	800		-	75.0	0.5	350	950	30	30	50	0.25
l2	A12	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
m2	A13	2.00	600		-	75.0	0.5	500	1050	30	30	50	0.25
n2	A14	2.00	300		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
o2	A15	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	150	30	50	0.25
p2	A16	2.00	600		-	75.0	0.5	800	950	30	60	50	0.25
q2	A17	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
r2	A18	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
s2	A19	2.00	600		-	75.0	0.5	1000	800	30	30	50	0.25
t2	A20	3.00	600		-	70.0	0.9	500	950	30	30	72	0.25
u2	A21	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	40	0.30
v2	A22	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	60	0.20
w2	A23	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	70	0.15
x2	A24	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
y2	A25	2.00	600		-	75.0	0.5	300	950	30	30	50	0.25
z2	A26	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	15	30	50	0.25
aa2	B1	2.00	600		-	75.0	0.5	500	800	30	30	50	0.25
ab2	B2	2.00	600		-	75.0	0.5	-	-	-	-	-	-
ac2	B3	2.00	600		-	75.0	0.5	-	-	-	-	-	-
ad2	B4	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
ae2	B5	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
af2	B6	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25
ag2	B7	2.00	600		-	75.0	0.5	500	950	30	30	50	0.25

表5-1

【 0 0 8 0 】

10

20

30

40

50

【表 5 - 2】

鋼板特性														
No.	集合組織の集積度						磁気特性 W10/400				平均結晶 粒径		備考	
	{111}<011>	{111}<112> {111}<011>	{111}<112>/ {111}<011>	{110}<001> {110}<011>	{411}<148> {411}<011>	全周平均		[20MPa 付与]	鉄損 劣化	Ws-Wn	Ws-Wn	μm		
						全周平均	全周平均							
d2	5.39	2.76	0.51	1.71	1.08	0.14	12.21	20.24	8.03	81	実施例			
e2	5.31	3.22	0.61	1.88	1.20	0.31	12.11	20.21	8.10	83	実施例			
f2	5.21	3.13	0.60	1.39	0.88	0.23	12.13	20.19	8.06	91	実施例			
g2	5.83	2.76	0.47	1.21	0.97	0.31	12.09	20.21	8.12	76	実施例			
h2	5.61	3.42	0.61	1.56	1.31	0.12	12.04	20.19	8.15	87	実施例			
i2	5.22	3.12	0.60	1.79	1.11	0.21	12.11	20.20	8.09	88	実施例			
j2	5.52	3.45	0.63	1.51	1.19	0.05	12.12	20.14	8.02	84	実施例			
k2	5.79	3.63	0.63	1.74	1.29	0.41	12.13	20.13	8.00	87	実施例			
l2	5.23	3.41	0.65	1.44	1.09	0.11	12.10	20.11	8.01	88	実施例			
m2	5.23	3.22	0.62	1.33	1.43	0.21	12.01	20.18	8.17	86	実施例			
n2	5.50	3.23	0.59	1.39	1.09	0.12	12.04	20.21	8.17	86	実施例			
o2	5.38	2.71	0.50	1.78	1.12	0.19	12.03	20.19	8.16	87	実施例			
p2	5.31	2.87	0.54	1.59	1.31	0.04	12.11	20.17	8.06	79	実施例			
q2	5.32	3.24	0.61	1.48	0.77	0.21	12.08	20.11	8.03	81	実施例			
r2	5.11	3.31	0.65	1.41	0.79	0.09	12.09	20.19	8.10	78	実施例			
s2	5.98	3.31	0.55	1.73	1.21	0.12	12.11	20.11	8.00	87	実施例			
t2	5.21	3.19	0.61	1.39	1.02	0.31	12.03	20.31	8.28	82	実施例			
u2	5.30	2.87	0.54	1.45	0.72	0.08	12.66	20.63	7.97	83	実施例			
v2	5.32	3.11	0.58	1.22	0.89	0.12	12.63	20.65	8.02	84	実施例			
w2	5.42	3.29	0.61	1.61	0.83	0.23	11.51	19.49	7.98	85	実施例			
x2	5.12	3.12	0.61	1.43	0.91	0.41	14.89	24.89	10.00	39	比較例			
y2	5.78	3.32	0.57	1.45	1.39	0.44	15.54	25.90	10.36	43	比較例			
z2	5.24	3.66	0.70	1.91	1.13	0.32	14.98	25.04	10.06	45	比較例			
aa2	5.63	3.69	0.66	1.32	0.82	0.12	15.39	25.56	10.17	47	比較例			
ab2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例			
ac2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例			
ad2	5.11	3.29	0.64	1.78	1.12	0.31	14.89	26.11	11.22	44	比較例			
ae2	5.12	3.49	0.68	1.87	1.21	0.44	14.32	25.78	11.46	47	比較例			
af2	5.37	3.31	0.62	1.77	1.19	0.90	14.89	26.01	11.12	49	比較例			
ag2	5.67	3.67	0.65	1.80	1.32	0.21	15.43	25.76	10.33	52	比較例			

表5-2

表5-2

【 0 0 8 1 】

本開示の化学成分及び好ましい製造方法により製造し、平均結晶粒径が30 μm以上200 μm以下であり、{111}<011>集積度が2.00以上8.00以下である実施例の鋼板は、鉄損劣化(Ws-Wn)が8.50 W/kg以下であり、圧縮応力付与時における鉄損が良好であった。

一方、化学成分、平均結晶粒径、又は{111}<011>集積度が本開示の範囲外である比較例の鋼板は、鉄損劣化(Ws-Wn)が8.50 W/kgを超えており、圧縮応力付与時における鉄損が実施例に比べて大きかった。

なお、表2-2におけるNo. a20、a23、表5-2におけるNo. ab2、ac

10

20

30

40

50

2 は、いずれも第 1 冷間圧延において割れが発生し、鋼板特性の測定を行わなかった。

【 0 0 8 2 】

2 0 2 2 年 3 月 3 0 日に出願された日本特許出願 2 0 2 2 - 0 5 7 5 4 1 及び 2 0 2 2 年 8 月 2 3 日に出願された日本特許出願 2 0 2 2 - 1 3 2 8 0 5 の開示は、その全体が参照により本明細書に取り込まれる。本明細書に記載された全ての文献、特許出願、および技術規格は、個々の文献、特許出願、および技術規格が具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
C 2 1 D 8/12 (2006.01) C 2 1 D 8/12 A

(56)参考文献 特開 2 0 2 1 - 1 6 5 4 1 1 (J P , A)
国際公開第 2 0 2 1 / 0 3 7 0 6 1 (W O , A 1)
国際公開第 0 1 / 0 6 2 9 9 8 (W O , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
H 0 1 F 1 / 1 4 7
C 2 1 D 8 / 1 2