

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年7月18日(18.07.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/150733 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) H01F 1/147 (2006.01)
C22C 38/60 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/000134
- (22) 国際出願日: 2024年1月9日(09.01.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-001936 2023年1月10日(10.01.2023) JP
- (71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 杉浦 夏子 (SUGIURA, Natsuko); 〒1008071 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 Tokyo (JP). 村川 鉄州 (MURAKAWA, Tesshu); 〒1008071 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 Tokyo (JP). 田中 一郎 (TANAKA, Ichiro); 〒1008071 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 Tokyo (JP). 太田 俊 (OTA, Shun); 〒1008071 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人太陽国際特許事務所 (TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: NON-ORIENTED ELECTRICAL STEEL SHEET

(54) 発明の名称: 無方向性電磁鋼板

(57) Abstract: The present invention provides a non-oriented electrical steel sheet which has a metal structure that contains, in mass%, specific elements and has a sheet thickness of 0.50 mm or less, in which the metal structure has a transformation temperature Ar_3 (°C) of 750 to 1050°C and a recrystallization ratio of 1 to 99%. In any given cross-section of this non-oriented electrical steel sheet, if S_{ac} is the area ratio of (411) crystal grains, S_{ag} is the area ratio of (110) crystal grains, and S_{bc} is the area ratio occupied by (411) crystal grains in a region where the KAM value is highest to 20%, then $S_{ac} > 0.120$, $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ and $0.050 > S_{ag}$ are satisfied.

(57) 要約: 質量%で、所定の元素を含有し、変態温度 Ar_3 (°C) が 750 ~ 1050°C であり、再結晶率が 1% ~ 99% である金属組織で、かつ、板厚が 0.50 mm 以下であり、任意の断面における、{411} 結晶粒の面積率を S_{ac} 、{110} 結晶粒の面積率を S_{ag} とし、KAM 値が高い側から 20% までの領域において {411} 結晶粒が占める面積率を S_{bc} としたとき、 $S_{ac} > 0.120$ 、 $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ かつ、 $0.050 > S_{ag}$ を満たす無方向性電磁鋼板を提供する。



WO 2024/150733 A1

明 細 書

発明の名称： 無方向性電磁鋼板

技術分野

[0001] 本開示は、無方向性電磁鋼板に関する。

背景技術

[0002] 無方向性電磁鋼板は、例えばモータの鉄心に使用され、無方向性電磁鋼板には、その板面に平行なすべての方向の平均（以下、「板面内の全周平均（全方向平均）」ということがある）において優れた磁気特性、例えば低鉄損及び高磁束密度が要求される。これまで種々の技術が提案されているが、板面内の全方向において十分な磁気特性を得ることは困難である。例えば、板面内のある特定の方向だけで十分な磁気特性が得られるとしても、他の方向では十分な磁気特性が得られないことがある。一方である特定の方向だけでは十分な磁気特性が得られなくても圧延方向および圧延方向から左右 45° 方向のように連続した領域において高い磁気特性を確保することが出来れば適用できるモーター形状も増え汎用性も高まることが期待できる。

[0003] 磁気特性を高めるためには $\{100\}$ 結晶方位の発達、または $\{111\}$ 結晶方位の低減が効果的であることはよく知られている。このような結晶配向の制御を行うために $\gamma \rightarrow \alpha$ 相変態が起こる成分系での検討が特許文献1～6に示すように種々行われている。これら技術では熱延組織を微細化することが一つのポイントになっている。 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相変態温度が低い鋼組成とし低温 γ 域熱延で γ 相に多量の歪を蓄積させ、そこから変態させることで、熱延板時点で細粒の α 相組織を実現する。この実現には、変態温度を低下させるとともに回復再結晶を遅らせて歪の蓄積を促進する観点で、MnやCu、Ni等の γ 安定化元素の添加が活用される。

しかし、Mnは偏析元素として知られ、含有量が増加すると熱延板の板厚中心部に偏析し熱延板を冷延した際の割れの原因となる。

また、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相変態を活用する技術で発達する $\{100\} \langle 011 \rangle$ 方位

が主となるため、面内異方性が大きく、これまでとは異なる結晶方位制御が求められている。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特許第4 0 2 9 4 3 0号公報
特許文献2：特許第6 3 1 9 4 6 5号公報
特許文献3：特開2 0 1 7 - 1 9 3 7 3 1号公報
特許文献4：WO 2 0 2 1 / 0 9 5 8 4 6
特許文献5：特開2 0 2 1 - 0 8 0 5 0 1号公報
特許文献6：特開2 0 2 0 - 1 0 0 8 6 0号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 本開示は、前述の問題点を鑑み、圧延性が問題とならないように、Mnを抑制するとともに、Mn、CuおよびNiなどの元素の含有量を適正化した化学組成を有する鋼板において、板面内異方性が小さく圧延方向から45°方向において優れた磁気特性を得ることができ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

- [0006] (1) 本開示の一態様に係る無方向性電磁鋼板は、
質量%で、
C : 0. 0 1 0 0 %以下、
Si : 1. 5 0 %~4. 0 0 %、
sol. Al : 0. 0 0 0 1 %~1. 0 %、
S : 0. 0 1 0 0 %以下、
N : 0. 0 1 0 0 %以下、
Mn : 0. 1 0 %以上、
Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2. 5 0 %未

満、

Mo : 0.00%~2.50%未満、

Cr : 0.00%~2.50%未満、

Ti : 0.000%~0.005%、

Nb : 0.000%~0.005%、

Sn : 0.000%~0.400%、

Sb : 0.000%~0.400%、

P : 0.000%~0.400%、及び

Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn、及びCdからなる群から選ばれる1種又は複数種：総計で0.0000%~0.0100%を含有し、

質量%での、C含有量を[C]、Mo含有量を[Mo]、Cr含有量を[Cr]、Mn含有量を[Mn]、Ni含有量を[Ni]、Cu含有量を[Cu]、Si含有量を[Si]、sol. Al含有量を[sol. Al]、P含有量を[P]としたときに、以下の(1)式で定めた変態温度 A_{r3} (°C)が750~1050°Cであり、残部がFeおよび不純物からなる化学組成を有し、

かつ、板厚が0.50mm以下であり、

任意の断面における、{411}結晶粒の面積率を S_{ac} 、{110}結晶粒の面積率を S_{ag} とし、KAM (Kernel Average Misorientation) 値が高い側から20%までの領域において{411}結晶粒が占める面積率を S_{bc} としたとき、 $S_{ac} > 0.120$ 、 $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ かつ、 $0.050 > S_{ag}$ を満たす。

$$A_{r3} \text{ (°C)} = 1020 - 325 \times [C] + 33 \times [Si] + 287 \times [P] + 80 \times [sol. Al] - 120 \times ([Mn] + [Mo] + [Cu]) - 46 \times ([Cr] + [Ni]) \quad \dots (1)$$

[0007] (2) 本開示の一態様に係る無方向性電磁鋼板は、

質量%で、

C : 0.0100%以下、
Si : 1.50%~4.00%、
sol. Al : 0.0001%~1.0%、
S : 0.0100%以下、
N : 0.0100%以下、
Mn : 0.10%以上、
Mn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2.50%未満、
Mo : 0.00%~2.50%未満、
Cr : 0.00%~2.50%未満、
Ti : 0.000%~0.005%、
Nb : 0.000%~0.005%、
Sn : 0.000%~0.400%、
Sb : 0.000%~0.400%、
P : 0.000%~0.400%、及び
Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn、及びCdからなる群から選ばれる1種又は複数種：総計で0.0000%~0.0100%を含有し、
質量%での、C含有量を[C]、Mo含有量を[Mo]、Cr含有量を[Cr]、Mn含有量を[Mn]、Ni含有量を[Ni]、Cu含有量を[Cu]、Si含有量を[Si]、sol. Al含有量を[sol. Al]、P含有量を[P]としたときに、以下の(1)式で定めた変態温度 A_{r3} (°C) が750~1050°Cであり、残部がFeおよび不純物からなる化学組成を有し、
かつ、板厚が0.50mm以下であり、
任意の断面における、{411}結晶粒の面積率を S_{ac} 、{110}結晶粒の面積率を S_{ag} とし、KAM (Kernel Average Misorientation) 値が高い側から20%までの領域において {4

1 1} 結晶粒が占める面積率を S_{bc} としたとき、 $S_{ac} > 0.120$ 、 $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ かつ、 $0.050 > S_{ag}$ を満たす。

$$A_{r_3} (^\circ C) = 1020 - 325 \times [C] + 33 \times [Si] + 287 \times [P] + 80 \times [sol. Al] - 120 \times ([Mn] + [Mo] + [Cu]) - 46 \times ([Cr] + [Ni]) \quad \dots (1)$$

(3) 上記 (1) 又は (2) に記載の無方向性電磁鋼板では、

圧延方向の磁束密度 B_{50} が 1.58 T 以上、かつ圧延方向に対して 45° 方向の磁束密度 B_{50} が 1.70 T 以上、であってもよい。

発明の効果

[0008] 本開示の上記態様によれば、圧延性が問題とならないように、 Mn を抑制するとともに、 Mn 、 Cu および Ni などの元素の含有量を適正化した化学組成とした鋼板において、圧延方向から 45° 方向において優れた磁気特性を得ることができる無方向性電磁鋼板を提供できる。

発明を実施するための形態

[0009] 本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意検討を行った。その結果、 Mn の添加量を低限し圧延性を確保し、更に成分調整を行った上で、熱間圧延条件を最適化し熱延板の段階で適切な α 加工粒組織を形成することによって、その後の冷延、中間焼鈍で {4 1 1} 結晶方位が発達することを見出した。この {4 1 1} 結晶方位は、上記の中間焼鈍板にスキンパス圧延、次いで最終焼鈍を施した際の最終焼鈍による歪誘起粒界移動 (SIBM) により、更に富化される。そして、{4 1 1} 結晶方位を富化させることが磁気特性の板面内異方性の低減および圧延方向から 45° 方向の改善に有効であることが明らかとなった。

[0010] 本発明者らは、このような知見に基づいて更に鋭意検討を重ねた結果、本開示に想到した。

[0011] 以下、本開示の実施形態について詳細に説明する。なお、本明細書中において、「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。また、以下の実施形態の各

要素は、それぞれの組み合わせが可能であることは自明である。

また、本開示の実施形態において「無方向性電磁鋼板」とは、コイル状または切板状の鋼板はもちろん、モータコアなどの製品（部材）の素材として特定形状に加工された鋼板、さらに加工後に積層されモータコアを構成している鋼板も含む。

[0012] まず、本開示の実施形態に係る無方向性電磁鋼板及びその製造方法で用いられる鋼材の化学組成について説明する。以下の説明において、無方向性電磁鋼板又は鋼材に含まれる各元素の含有量の単位である「%」は、特に断りがない限り「質量%」を意味する。また、無方向性電磁鋼板の化学組成は、皮膜等を除いた母材を100%とした場合の含有量を示す。

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。

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。

[0013] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、フェライトーオーステナイト変態（以下、 $\alpha-\gamma$ 変態）が生じ得る化学組成であって、

質量%で、

C : 0.0100%以下、

Si : 1.50%~4.00%、

sol. Al : 0.0001%~1.0%、

S : 0.0100%以下、

N : 0.0100%以下、

Mn : 0.10%以上、

Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2.50%未満、

M o : 0.0%~2.5%未満

C r : 0.0%~2.5%未満

T i : 0.000%~0.005%

N b : 0.000%~0.005%

S n : 0.000%~0.400%、

S b : 0.000%~0.400%、

P : 0.000%~0.400%、及び

M g、C a、S r、B a、C e、L a、N d、P r、Z n、及びC dからなる群から選ばれる1種又は複数種：総計で0.0000%~0.0100%を含有し、さらに、C、S i、P、s o l、A l、M n、M o、C u、C rおよびN iの含有量が後述する所定の条件を満たし、残部がF eおよび不純物からなる化学組成を有する。

[0014] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板において、M n、N i、C o、P t、P b、A u、及びC uから選ばれる1種又は複数種は、総計で2.50%未満含有することが好ましい。

[0015] 不純物としては、鉱石やスクラップ等の原材料に含まれるもの、製造工程において含まれるもの、が例示される。

[0016] (C : 0.0100%以下)

Cは、鉄損を高めたり、磁気時効を引き起こしたりする。従って、C含有量は低ければ低いほどよい。このような現象は、C含有量が0.0100%超で顕著である。このため、C含有量は0.0100%以下とする。C含有量の低減は、板面内の全方向における磁気特性の均一な向上にも寄与する。なお、C含有量の下限は特に限定しないが、精錬時の脱炭処理のコストを踏まえ、0.0005%以上とすることが好ましい。

[0017] (S i : 1.50%~4.00%)

S iは、電気抵抗を増大させて、渦電流損を減少させ、鉄損を低減したり、降伏比を増大させて、鉄心への打ち抜き加工性を向上したりする。S i含有量が1.50%未満では、これらの作用効果を十分に得られない。従って

、S i 含有量は1.50%以上とする。また、S i 含有量は1.80超えが好ましく、2.00以上がより好ましい。一方、S i 含有量が4.00%超では、磁束密度が低下したり、硬度の過度な上昇により打ち抜き加工性が低下したり、冷間圧延が困難になったりする。従って、S i 含有量は4.00%以下とする。

[0018] (s o l. A l : 0.0001%~1.0%)

s o l. A l は、電気抵抗を増大させて、渦電流損を減少させ、鉄損を低減する。s o l. A l は、飽和磁束密度に対する磁束密度 B_{50} の相対的な大きさの向上にも寄与する。s o l. A l 含有量が0.0001%未満では、これらの作用効果を十分に得られない。また、A l には製鋼での脱硫促進効果もある。従って、s o l. A l 含有量は0.0001%以上とする。一方、s o l. A l 含有量が1.0%超では、磁束密度が低下したり、降伏比を低下させて、打ち抜き加工性を低下させたりする。従って、s o l. A l 含有量は1.0%以下とする。

ここで、S i 及びs o l. A l の合計含有量は、1.80超えが好ましく、2.00以上がより好ましい。

なお、s o l. A l とは、 Al_2O_3 等の酸化物になっておらず、酸に可溶する酸可溶A l を意味する。

[0019] ここで、磁束密度 B_{50} とは、5000 A/mの磁場における磁束密度である。

[0020] (S : 0.0100%以下)

Sは、必須元素ではなく、例えば鋼中に不純物として含有される。Sは、微細なM n Sの析出により、焼鈍における再結晶及び結晶粒の成長を阻害する。従って、S含有量は低ければ低いほどよい。このような再結晶及び結晶粒成長の阻害による鉄損の増加および磁束密度の低下は、S含有量が0.0100%超で顕著である。このため、S含有量は0.0100%以下とする。なお、S含有量の下限は特に限定しないが、精錬時の脱硫処理のコストを踏まえ、0.0003%以上とすることが好ましい。

[0021] (N : 0.0100%以下)

NはCと同様に、磁気特性を劣化させるので、N含有量は低ければ低いほどよい。したがって、N含有量は0.0100%以下とする。なお、N含有量の下限は特に限定しないが、精錬時の脱窒処理のコストを踏まえ、0.0010%以上とすることが好ましい。

[0022] (Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2.50%未満)

Mn、Ni、及びCuが総計で2.5%以上含有すると磁気特性の異方性が大きくなることから、Mn、Ni、及びCuの総計は2.5%未満とする。異方性が大きくなる要因は明確ではないが、フェライト域での滑り変形に影響を及ぼし、{100}方位の形成、再結晶を促すためと考えられる。また、合金元素の含有量の増加は、この観点から2.3%以下とすることが好ましい。Mn、Ni、及びCuの総計の下限値は特に制限されないが、例えば0.10%以上としてもよく、0.50%以上、もしくは、1.00%以上、さらに、2.00%以上としてもよい。

[0023] (Mn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2.50%未満)

上述のMn、Ni、及びCuに加えて、Co、Pt、Pb、及びAuも磁気特性の異方性を大きくすることから、本実施形態ではこれらの元素の含有量を総計で2.50%未満にとどめることが好ましい。また、これらの元素は磁束密度を低下させるため、総計で2.00%未満とすることが好ましい。Mn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuの総計の下限値は特に制限されないが、例えば0.10%以上としてもよく、0.50%以上、もしくは、1.00%以上、さらに、2.00%以上としてもよい。特にCo、Pt、Pb、及びAuは合金コストが高いことから、積極的な添加は回避すべきである。また、本実施形態の特徴の一つであるAr3変態点の制御を考慮しても、Mn、Ni、及びCuの含有によりAr3変態点を制御することが好ましい。このため、Co、Pt、Pb、及びAuの総計は0.5%未満

、さらに好ましくは0.1%以下、さらには不可避元素の範囲内での混入に留め、積極的な添加をあえて実施する必要はない(0%としてもよい。))。

[0024] また、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板及び鋼材は、 $\alpha-\gamma$ 変態が生じ得る条件として、さらに以下の条件を満たしているものとする。つまり、質量%での、C含有量を[C]、Mo含有量を[Mo]、Cr含有量を[Cr]、Mn含有量を[Mn]、Ni含有量を[Ni]、Cu含有量を[Cu]、Si含有量を[Si]、sol. Al含有量を[sol. Al]、P含有量を[P]としたときに、以下の(1)式で定めた変態温度 A_{r3} ($^{\circ}\text{C}$)が750~1050 $^{\circ}\text{C}$ であることを満たすものとする。

[0025] $A_{r3} (^{\circ}\text{C}) = 1020 - 325 \times [\text{C}] + 33 \times [\text{Si}] + 287 \times [\text{P}] + 80 \times [\text{sol. Al}] - 120 \times ([\text{Mn}] + [\text{Mo}] + [\text{Cu}]) - 46 \times ([\text{Cr}] + [\text{Ni}]) \quad \dots (1)$

[0026] 前述の(1)式を満たさない場合には、 $\alpha-\gamma$ 変態が生じたとしても変態点が適切な温度範囲にないため、後述の製造方法を適用しても、十分な磁束密度が得られない。 A_{r3} 変態点が750 $^{\circ}\text{C}$ 未満となると熱間圧延の温度が低温化するために変形抵抗が高くなり圧延機への負荷が大きくなりすぎるとともに、元素の添加量が高くなるために熱延板および冷延板の靱性低下にもつながることからこの値を下限とする。一方、 A_{r3} 変態点が1050 $^{\circ}\text{C}$ 超となると熱間圧延温度が高くなりすぎるために極めて高温加熱が必要となり加熱炉への負荷が高くなる、または $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が起こらない成分系になってくるためこの値を上限とする。

[0027] (Mn: 0.10%以上、Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種の総計又はMn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuから選ばれる1種又は複数種の総計で2.5%未満)

Mnは、 A_{r3} 変態点を低下させ、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の成分系において、相変態による熱延板の結晶粒の微細化を可能とする。Mnは鋼の電気抵抗を高め、鉄損を低減する元素である。そのため、Mnは0.10%以上含有させる。この観点からはMnは0.50%以上含有させること

が好ましい。更に好ましくは1.00%以上である。一方、Mnは偏析しやすい元素であり、含有量が増えると、偏析起因の冷間加工割れを起こすだけでなく、飽和磁束密度を低下させ鋼板の磁束密度の上昇を妨げる。また、MnSが過剰に生成して、冷間加工性が低下する。そのため、Mn含有量は、上記範囲内で制限する。具体的な、Mn含有量の上限は2.5%未満であり、2.3質量%以下が好ましく、2.0質量%がより好ましい。

[0028] (Cu:Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種の総計又はMn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuから選ばれる1種又は複数種の総計で2.5%未満)

CuはMn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り、 A_{r3} 変態点を低下させて本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の化学組成において、相変態による熱延板粒径の微細化を可能とする元素である。しかしながら、Cu含有量が高くなると再結晶温度の上昇などにより冷延以降の焼鈍における集合組織形成に悪影響をおよぼすとともに熱間での脆化の原因となるだけでなく、飽和磁束密度を低下させ鋼板の磁束密度の上昇を妨げることから注意を要する。よって、Cu含有量は2.5%未満で制限する。なお、Cu含有量の半量以上のNiを複合添加とすることでCuに起因する熱間での脆化を軽減できる。なお、Cu含有量の上限は限定されないが、1.6質量%以下としてもよく、1.2質量%以下が好ましく、1.0質量%以下がより好ましい。Cu含有量の下限は特に制限されないが、例えば0.01%以上とすればよい。

[0029] (Ni:Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種の総計又はMn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuから選ばれる1種又は複数種の総計で2.5%未満)

NiはMnと同様に鋼板の電気抵抗を高め、鉄損を低減する。Niはさらに、 A_3 変態点を低下させて本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の化学組成において、相変態による結晶粒の微細化を可能とする。しかしながら、Ni含有量が高すぎれば、Niは高価であるため製品コストが高くなるだけな

く、飽和磁束密度を低下させ鋼板の磁束密度の上昇を妨げるため、含有量の設計においてはこれらを考慮することが好ましい。よって、Ni含有量は2.5%未満で制限する。また、Ni含有量の上限は、1.0質量%以下が好ましく、0.7質量%以下がより好ましい。Ni含有量の下限は特に制限されず、0%としてもよいが、例えば0.01%以上としてもよい。

[0030] (Mo : 0.0%～2.5%未満)

Moは A_{r3} 変態点を低下させ本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の化学組成において、相変態による熱延板粒径の微細化を可能とする元素である。したがって、Moは必要に応じて含有させてもよく0.1%以上含有することが好ましい。一方で、Moを2.5%以上含有することは冷間加工性を著しく低下させることから、Mo含有量は2.5%未満とする。

[0031] (Cr : 0.0%～2.5%未満)

Crは A_{r3} 変態点を低下させ本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の化学組成において、相変態による熱延板粒径の微細化を可能とする元素であると共に、強度調整や耐食性の他、特に高周波特性を向上させる効果がある。したがって、Crは必要に応じて含有させてもよく、0.1%以上含有することが好ましい。一方で、Crの過剰な含有は効果が飽和し原料コストを増加させるだけでなく、飽和磁束密度を低下させ鋼板の磁束密度の上昇を妨げる。このため、Cr含有量は、2.5%未満とする。

[0032] (Ti : 0.000%～0.005%)

Tiは固溶、またはTiNとして存在することで再結晶が抑制されオーステナイト粒径の微細化に寄与する。したがって、Tiは必要に応じて含有させてもよく、0.001%以上含有することが好ましい。一方、Ti含有量が0.005%を超えると、TiN、TiS、およびTiCなど様々な析出物を生成し、鉄損特性を劣化させることから、0.005%以下とする。

[0033] (Nb : 0.000%～0.005%)

Nbは固溶、またはNbNとして存在することで再結晶が抑制されオース

テナイト粒径の微細化に寄与する。したがって、Nbは必要に応じて含有させてもよく、0.001%以上含有することが好ましい。一方、Nb含有量が0.005%を超えると、NbNおよびNbCなど様々な析出物を生成し、鉄損特性を劣化させることから、0.005%以下とする。

[0034] (Sn: 0.000%~0.400%、Sb: 0.000%~0.400%、P: 0.000%~0.400%)

SnやSbは冷間圧延、再結晶後の集合組織を改善して、その磁束密度を向上させる。そのため、これらの元素を必要に応じて含有させてもよいが、過剰に含まれると鋼を脆化させる。したがって、Sn含有量、Sb含有量はいずれも0.400%以下とする。また、Pは再結晶後の鋼板の硬度を確保するために含有させてもよいが、過剰に含まれると鋼の脆化を招く。したがって、P含有量は0.400%以下とする。

[0035] 磁気特性等のさらなる効果を付与する場合には、0.020%~0.400%のSn、0.020%~0.400%のSb、及び0.020%~0.400%のPからなる群から選ばれる1種又は複数種を含有することが好ましい。

[0036] (Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn、及びCdからなる群から選ばれる1種又は複数種: 総計で0.0000%~0.0100%)

Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn及びCdは、溶鋼の鑄造時に溶鋼中のSと反応して硫化物若しくは酸硫化物又はこれらの両方の析出物を生成する。以下、Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn及びCdを総称して「粗大析出物生成元素」ということがある。粗大析出物生成元素の析出物の粒径は1 μ m~2 μ m程度であり、MnS、TiN、AlN、TiC、NbC等の微細析出物の粒径(100nm程度)よりはるかに大きい。このため、これら微細析出物は粗大析出物生成元素の析出物に付着し、中間焼鈍などの焼鈍における再結晶及び結晶粒の成長を阻害しにくくなる。これらの作用効果を十分に得るためには、粗大析出物生

成元素の総計が0.0005%以上であることが好ましい。但し、これらの元素の総計が0.0100%を超えると、硫化物若しくは酸硫化物又はこれらの両方の総量が過剰となり、中間焼鈍などの焼鈍における再結晶及び結晶粒の成長が阻害される。従って、粗大析出物生成元素の含有量は総計で0.0100%以下とする。粗大析出物生成元素の含有量の総計の上限は、0.0080%以下としてもよく、さらに0.0050%以下としてもよい。

[0037] 本実施形態において、上記以外の化学組成の残部はFe及び不純物であってもよい。不純物とは、鋼原料および／又は製鋼過程で混入する元素を意味する。また、Feの一部に代えて、さらに、その他の元素を本発明効果を消失させない範囲で含有してもよい。例えば、B、O、V、Bi、W、Yを、それぞれ0.10%以下含有してもよい。なお、不純物全体で合計5.00%以下であることが好ましく、1.00%以下であることがより好ましい。

[0038] 化学組成については、以下の方法で求める。

化学組成については、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。具体的には、鋼板から採取した試験片を予め作成した検量線に基づいた条件で所定の測定装置にて測定することにより、化学組成が特定される。CおよびSは燃焼-赤外線吸収法を用いて測定し、Nは不活性ガス融解-熱伝導度法を用いて測定すればよい。Oは不活性ガス融解-非分散型赤外線吸収法で測定すればよい。

表面に絶縁被膜を有している場合には、モニターなどにより機械的に除去したのちに分析に供すればよい。

[0039] 次に、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の金属組織について説明する。製造方法の詳細については後述するが、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は α - γ 変態が生じ得る化学組成である。

[0040] 次に、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の厚さについて説明する。本実

施形態に係る無方向性電磁鋼板の板厚は0.50mm以下である。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の好ましい板厚は、0.10～0.50mmである。通常、板厚が薄くなれば、鉄損は低くなるものの、磁束密度が低くなる。この点を踏まえると、板厚が0.10mm以上であれば、鉄損がより低く、かつ、磁束密度がより高くなる。また、板厚が0.50mm以下であれば、低い鉄損を維持できる。板厚のより好ましい下限値は0.20mm、さらに好ましい下限値は0.30mmである。

[0041] 次に、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の歪の分布について説明する。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、さらに圧延方向から45°方向にかけて高い磁束密度が得られるような歪の分布を有する。具体的には、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、 $S_{ac} > 0.120$ 、 $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ かつ、 $0.050 > S_{ag}$ を満たす。

[0042] 次に、 S_{ac} 、 S_{ag} 及び S_{bc} について説明する。

S_{ac} は、スキンプス圧延後の鋼板の任意の断面における、 $\{411\}$ 結晶粒の面積率であり、 S_{ag} は、スキンプス圧延後の鋼板の任意の断面における、 $\{110\}$ 結晶粒の面積率である。スキンプス圧延後の鋼板の任意の断面（鋼板を鋼板の板面側から1/2研磨した研磨面）を観察した場合の、その断面の全面積を S_{all} 、その断面における $\{411\}$ 結晶粒の面積を S_{allc} 、その断面における $\{110\}$ 結晶粒の面積を S_{allg} としたとき、 S_{ac} は、 $S_{ac} = S_{allc} / S_{all}$ で表される。

また、 S_{ag} は、 $S_{ag} = S_{allg} / S_{all}$ で表される。 $\{411\}$ 結晶粒（又は $\{110\}$ 結晶粒）とは、対象となる結晶方位から裕度（Tolerance）10°以内で定義される結晶粒である。つまり、結晶方位は対象となる結晶方位から±10°以内の裕度があるとする。

[0043] S_{bc} は、所定のKAM値を示す領域の $\{411\}$ 結晶粒の面積率である。 S_{bc} は、次のように定義される。上記と同じ断面における、KAM（Kernel Average Misorientation）値が高い側から20%までの範囲にある領域の全面積を S_{sab} とし、KAM値が高い

側から20%までの範囲にある領域のうちで{411}結晶粒が占める面積を S_{sabc} としたとき、 S_{bc} は、 $S_{bc} = S_{sabc} / S_{sab}$ で表される。

[0044] KAM値は、ある測定点における、同一粒内で隣接する測定点との方位差を示す（ただし、隣接する測定点が別の結晶粒の場合、その隣接する測定点はKAMの計算からは除外する）。歪の多い箇所ではKAM値は高くなる。このようなKAM値が高い側から20%までの領域を抜き出すことで、高歪領域のみ抽出することが出来る。測定点は、任意の画素で構成される領域である。なお、測定点を構成する画素の大きさは、KAM値を正確に求めるという点から0.1～1.0 μm が好ましい。

[0045] KAM値が高い側から20%までの領域は、次のように求める。まず、対象とする上記断面におけるKAM値の度数分布を示すヒストグラム図を作成する。このヒストグラム図は、上記断面におけるKAM値の度数分布を示すものである。次いで、このヒストグラム図を累積ヒストグラム図に変換する。そして、この累積ヒストグラム図において、KAM値が高い側から、累積相対度数の20%まで（0～20%）を占める範囲を決定する。そして、この範囲のKAM値を取る領域（a）を「KAM値が高い側から20%までの領域」として、上記断面上で規定（マッピング）する。すなわち、このように規定された領域（a）の面積が S_{sab} である。次に、上記断面において、{411}結晶粒の領域（b）を規定し、領域（a）と領域（b）とが重複する領域（c）を求める。このように規定された領域（c）の面積が S_{sabc} である。

[0046] なお、 S_{allc} 、 S_{allg} 、 S_{sabc} 等について、厳密にそれぞれの方位の結晶粒の面積を示すものではなく、例えば、それぞれの方位から10°までのずれ（裕度）を許容する方位の面積も含むものとする。つまり、対象となる結晶方位の結晶粒の面積率は、当該対象となる結晶方位から±10°以内の結晶方位を持つ結晶粒の面積率とする。

[0047] KAM値は、OIM Analysis等のソフトウェアによって試料断

面の画像を解析することで算出できる。なお、KAM値の最高値は、同ソフトウェアで自動的に付与される。上記の説明において、KAM値が高い側とは、KAM値の度数分布においてKAM値の最高値側を意味する。例えば、KAM値0を原点とする累積ヒストグラムの場合、KAM値が高い側から累積相対度数の20%までを占める範囲とは、累積相対度数が1~0.8の範囲となる。

[0048] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板において、特定する金属組織は、鋼板の板面に平行な断面で特定されるもので、以下の手順によって特定する。

まず、板厚1/2厚位置が表出するように研磨し、その研磨面（鋼板の板面側から1/2研磨した研磨面）を、SEMを用いて加速電圧25kV、倍率1000倍で、EBSD（Electron Back Scattering Diffraction）にて観察を行う。観察視野は、 $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ とする。観察は、いくつかの小区画に分けた数カ所で行っても良い。測定時のstep間隔は、 $0.3\mu\text{m}$ とする。EBSDの観察データから一般的な方法により、以下の種類の面積、KAM（Kernel Average Misorientation）値を得る。

各方位の面積はEBSDの観察視野からIPF（Inverse Pole Figure）を計算することにより求めることができる。KAM値はOIM Analysis等のソフトウェアを用いて測定点同士の方角差を計算することにより求めることが出来る。本開示では、OIM Analysis 7.3を用いて、KAM値へ参入する限度（tolerance）を隣接ピクセルとの方位差 5° 以下とし、最隣接（1st neighbor）の測定点間の方位差を計算した値の平均値をKAM値として用いる。なお、「Set zero point kernel to maximum misorientations」の設定はデフォルトのまま、チェックを入れる。

[0049] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板において、Sacが0.120以下では $Sac > Sbc > Sag$ かつ、 $0.050 > Sag$ の関係を満足して粒成

長が起こっても優れた磁気特性を得ることができない。よって、 S_{ac} は、 $S_{ac} > 0.120$ を満たす。

[0050] 上記の不等式の $S_{ac} > S_{ag}$ の関係は、全体を占める割合が $\{411\}$ 結晶粒の方が $\{110\}$ 結晶粒よりも多いことを示す。スキンプス後の焼鈍では、 $\{411\}$ 結晶粒と $\{110\}$ 結晶粒の両方が成長しやすくなる。ここで、圧延方向から 45° 方向の磁気特性は $\{411\}$ 結晶粒の方が $\{110\}$ 結晶粒よりも優れているため、 $\{411\}$ 結晶粒の方を多くすることがより好ましい。

[0051] 次に $S_{ac} > S_{bc}$ の関係は、 $\{411\}$ 結晶粒には歪が多い領域が相対的に少ないことを意味する。スキンプス圧延後の焼鈍では歪の少ない粒が、歪の多い粒を蚕食することが知られている。よって、この不等式は $\{411\}$ 結晶粒が成長しやすくなることを意味する。

[0052] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板においては、 $\{411\}$ 結晶粒が成長し、かつさらに $\{411\}$ 結晶粒が成長しやすい組織を有しているため、 $\{110\}$ 結晶粒の面積率 S_{ag} は 0.05 未満となっている。 $\{110\}$ 結晶粒の面積率 S_{ag} が 0.05 以上では、優れた磁気特性が得られない。また、 $S_{bc} > S_{ag}$ とする理由は、 $\{110\}$ 結晶粒の割合より、高歪領域における $\{411\}$ 結晶粒の割合が多いほうが、圧延方向から 45° 方向の磁気特性が向上するためである。

[0053] 次に、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の磁気特性について説明する。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は最終焼鈍板を指し、圧延方向となす角度が 0° 、 45° 、 90° となる3つの方向において、 45° 方向の磁気特性が最も優れる。本実施形態において 45° 方向の磁気特性は、圧延方向と $+45^\circ$ と -45° をなす2つの方向についての磁気特性の平均値である。

[0054] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の磁束密度を測定したとき、圧延方向の磁束密度 B_{50} は 1.58 T 以上、かつ圧延方向に対して 45° 方向の磁束密度 B_{50} は、 1.70 T 以上が好ましい。

[0055] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板では、圧延方向における磁束密度 B_{50}

の値を B_{50L} 、圧延方向に対して 45° 方向の磁束密度 B_{50} の値を B_{50D} 、圧延方向に対して 90° 方向の磁束密度 B_{50} の値を B_{50C} とすると、 B_{50D} が相対的に高く、続いて B_{50L} が高く、 B_{50C} が相対的に低いという磁束密度の異方性がみられる。

[0056] 磁束密度の測定は、圧延方向に対して 45° 、 0° 方向等から 55mm 角の試料を切り出し、単板磁気測定装置を用いて行うことができる。

[0057] 次に、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造方法の一例について説明する。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、熱間圧延工程、冷間圧延工程、中間焼鈍工程、スキンプス圧延工程、最終焼鈍工程を含む製造方法によって得られる。

以下、各工程の好ましい条件について説明する。

以下、本実施形態において、 A_{r3} 温度は、上記(1)式で定めた変態温度 A_{r3} ($^\circ\text{C}$)である。

[0058] (熱間圧延工程)

熱間圧延工程では、上述の化学組成を満たす鋼材に対して熱間圧延を実施して熱間圧延鋼板を製造する。熱間圧延工程は、加熱過程と、圧延過程とを備える。

[0059] 鋼材は、例えば通常の連続鋳造によって製造されるスラブであり、上述した組成の鋼材は周知の方法で製造される。たとえば、転炉又は電気炉等で溶鋼を製造する。製造された溶鋼に対して脱ガス設備等で二次精錬して、上記化学組成を有する溶鋼とする(その後の工程では化学組成は実質的に変化しない)。溶鋼を用いて連続鋳造法又は造塊法によりスラブを鋳造する。鋳造されたスラブを分塊圧延してもよい。

[0060] 加熱過程では、上述の化学組成を有する鋼材を $1000\sim 1200^\circ\text{C}$ に加熱することが

好ましい。具体的には、鋼材を加熱炉又は均熱炉に装入して、炉内にて加熱する。加熱炉又は均熱炉での上記加熱温度での保持時間は特に限定されないが、例えば $30\sim 200$ 時間である。

[0061] 圧延過程では、加熱過程により加熱された鋼材に対して、複数回パスの圧延を実施して、熱間圧延鋼板を製造する。ここで、「パス」とは、一对のワークロールを有する1つの圧延スタンドを鋼板が通過して圧下を受けることを意味する。熱間圧延はたとえば、一列に並んだ複数の圧延スタンド（各圧延スタンドは一对のワークロールを有する）を含むタンデム圧延機を用いてタンデム圧延を実施して、複数回パスの圧延を実施してもよいし、一对のワークロールを有するリバース圧延を実施して、複数回パスの圧延を実施してもよい。生産性の観点から、タンデム圧延機を用いて複数回の圧延パスを実施するのが好ましい。

[0062] 圧延過程（粗圧延および仕上げ圧延）での圧延は、上述した鋼材を加熱し、熱間圧延を施す。鋼材は、例えば通常の連続鋳造によって製造されるスラブである。スラブの加熱は A_{r3} 温度以上とし鋼組織が γ 相となる温度域とする。熱間圧延は鋼組織が γ 相となる温度域（以降、この温度域を γ 域と記述することがある）で開始され、仕上げ圧延の最終パスを含む必要な数パスを除いて γ 域で実施し、最終パスを含む必要な数パスを鋼組織に α 相が存在する温度域（以降、この温度域を α 域と記述することがある）で実施して完了させる。一般的には、粗圧延及び仕上げ圧延の前段～中段を γ 域で行い、仕上げ圧延の後段を α 域で行うこととなる。本実施形態では、最終的な α 域での圧延の直前の A_{r3} 温度以上 $A_{r3} + 20^\circ\text{C}$ 以下の温度域での合計圧下率を10%以上とする。さらに、仕上げ圧延温度 F_T 以上 A_{r3} 温度未満の温度域での圧下率は複数パスで圧延する場合も考慮して合計で15%以上とする。

なお、仕上げ圧延温度 F_T とは、仕上げ圧延直後の熱間圧延鋼板の表面温度を指す。

仕上げ圧延温度 F_T の下限は特に制限はないが、例えば、 A_{r3} 温度 -100°C 以上とする。

[0063] 最終的な α 域での圧延の直前での $A_{r3} + 20^\circ\text{C}$ 超の温度域での圧延は相変態前の加工 γ 粒の粒径への影響がほとんどなく、変態後に粗大な加工 α 粒が形成され、最終製品での $\{411\}$ 結晶方位への集積とは無関係となる。

最終的な α 域での圧延の直前の A_{r3} 温度以上 $A_{r3} + 20^\circ\text{C}$ 以下の温度域での圧延率が10%未満となると相変態前の加工 γ 粒への歪の蓄積が不足し、粗大な加工 α 粒が形成され、最終製品での{411}結晶方位への集積が起こりづらくなる。 A_{r3} 温度以上 $A_{r3} + 20^\circ\text{C}$ 以下の温度域での圧延率は、好ましくは15%以上とする。圧下率の合計の上限は規定しないが、40%を超えとすることは圧延機の負荷が高くなりすぎることから、40%を上限とすることが好ましく、30%以下とすることがより好ましい。

最終的な α 域での仕上げ圧延温度 F_T 以上 A_{r3} 温度未満の温度域での圧下率の合計が15%未満となると加工 γ 粒から相変態した後の加工 α 粒に α 域での加工歪を十分に蓄積することができず、最終製品での{411}結晶方位への集積が起こりづらくなる。仕上げ圧延温度 F_T 以上 A_{r3} 温度未満の温度域での圧下率は、好ましくは20%以上とする。圧下率の合計の上限は規定しないが、40%を超えとすることは圧延機の負荷が高くなりすぎることから、40%を上限とすることが好ましく、30%以下とすることがより好ましい。

なお、仕上げ圧延温度 F_T 以上 $A_{r3} - 20^\circ\text{C}$ 未満における合計圧下率は、10%超が好ましい。

本実施形態では、熱間圧延における圧下率 $RR0$ は、次のとおり定義される。

圧下率 $RR0$ (%) = $(1 - \text{熱間圧延での該当温度域での圧延後の板厚} / \text{熱間圧延での該当温度域での圧延前の板厚}) \times 100$

[0064] 上記の α 域での圧延の下限温度については特に限定するものではないが、圧延温度が低下すると圧延機の負荷が高くなることから、 600°C 以上とすることが好ましい。

なお、上記の圧延温度は、ロール接触および冷却潤滑剤による温度低下と加工による温度上昇が競合し、圧延パスの加工途中で規定の判定温度(A_{r3} 温度、または $A_{r3} + 20^\circ\text{C}$)の上下で変動することが考えられる。本実施形態ではこのような状況を次のように処理する。

圧延パスにおいて、入側の温度を TPI (°C)、入側の板厚を TCI (mm)、出側の温度を TPO (°C)、出側の板厚を TCO (mm)とし、さらに圧延パス中の板厚変化と温度変化は単純に直線的な関係を有したまま変化すると仮定する。つまり、圧延パス中の特定時点での板厚を TCa (mm)、温度を TPa (°C)とすると、圧延パス中は以下の式が常に成り立つものと仮定する。

$$(TCa - TCO) / (TCI - TCO) = (TPa - TPO) / (TPI - TPO)$$

これにより、本製造法における規定の判定温度 (Ar_3 温度、または $Ar_3 + 20$ °C) に圧延パス中に到達した場合でも、その時点での板厚を決定することが可能となる。

すなわち圧延パス途中に特定の温度 TPa (°C) に到達した時点での板厚 TCa (mm) は、

$$TCa = TCO + (TCI - TCO) \times (TPa - TPO) / (TPI - TPO)$$

により得ることができる。

[0065] ここで、注意すべきは、上記仮定は圧延パスの出側温度が入側温度よりも高くなることも想定したものである。すなわち当該パスの入側温度 TPI が Ar_3 温度未満であった鋼板が当該パス内での加工発熱により温度上昇して Ar_3 温度以上の出側温度 TPO で排出される状況においても、当該パス内の後半で本開示に必要な γ 域 (Ar_3 温度以上 $Ar_3 + 20$ °C以下の温度域) での圧延が施されたと判断する。

また、 Ar_3 温度を挟んだ温度の変動が複数パスに亘って生じることも考えられる。このような場合、本実施形態においては、 α 域の圧延条件については、「 α 域での最終の圧延加工」を対象とする。また、 γ 域の圧延条件については、「上記『 α 域での最終の圧延加工』」の直前の γ 域での圧延加工」を対象とする。つまり、 γ 域で熱間圧延を開始した後の圧延温度が、 γ 域 (熱延開始) $\Rightarrow \alpha$ 域1 $\Rightarrow \gamma$ 域1 $\Rightarrow \alpha$ 域2 $\Rightarrow \gamma$ 域2 $\Rightarrow \alpha$ 域3 (熱延終了) のよう

に変動した場合、 α 域3と γ 域2が本実施形態の条件に合致すれば、本開示鋼板を得ることが可能である。

[0066] 各パスでの圧延温度は、例えば対象パスの圧下を行う圧延スタンドの入側または出側に設置された測温計により、測温可能である。また、温度域が本開示範囲内となる圧延スタンドの入側および出側のすべてに測温計を設置する必要はなく、その前後に適宜設置された測温計の実績温度から計算により途中の圧延スタンドでの圧延温度を計算しても良い。むしろ、現状の熱間圧延では、このような計算による温度を用いた制御が行われることが通常である。

なお、仕上げ圧延温度FTは、Ar₃温度未満とすることが好ましい。

[0067] その後、熱間圧延板焼鈍は行わずに巻き取る。巻き取り時の温度は、250℃超600℃以下であることが好ましい。熱間圧延後の熱間圧延鋼板を250℃超600℃以下で巻き取ることで、冷延前の結晶書式を微細化することができ、バルジングの際に磁気特性の優れた{411}結晶方位を付加できるという効果が得られる。この観点から巻き取り時の温度は、350℃～550℃がより好ましく、400℃～480℃であることがさらに好ましい。

[0068] (冷間圧延工程)

冷間圧延工程では、冷却工程後の熱間圧延鋼板に対して冷間圧延を行って冷間圧延鋼板を得る。具体的には、熱間圧延後、酸洗を経て、熱間圧延鋼板に対して冷間圧延を行う。冷間圧延では圧下率を80%～92%とすることが好ましい。圧下率の下限は83%以上としてもよく、さらに85%以上としてもよい。また、圧下率の上限は90%以下としてもよい。なお、圧下率が高いほどその後のバルジングによって{411}結晶方位を有する結晶粒が成長しやすくなるが、板形状が劣化し、操業が困難になりやすくなる。

[0069] (中間焼鈍工程)

中間焼鈍工程では、冷間圧延鋼板に対して中間焼鈍を行う。本実施形態では、中間焼鈍の温度を650～700℃未満に制御する。中間焼鈍の温度が

700℃以上では、結晶粒の過度な粒成長に伴い、後述するスキンプス圧延および最終焼鈍を施しても{411}結晶方位への集積が進行しにくくなるとともに、{110}結晶粒の発達を促す。また、中間焼鈍の温度が650℃未満では十分な再結晶が生じないと、後述するスキンプス圧延および最終焼鈍を施しても{411}結晶方位を有する結晶粒の成長が阻害される。したがって、中間焼鈍の温度は650℃以上とすることが好ましい。中間焼鈍の温度の下限は660℃以上としてもよく、さらに680℃以上としてもよい。ここで説明する温度は連続焼鈍を前提としたものであり、中間焼鈍の時間は、5～120秒を好ましい範囲とする。この焼鈍温度域および焼鈍時間範囲は、冷間圧延工程までに少なからず生成している{411}結晶粒がバルジングにより適度に成長し、後述するスキンプス圧延および最終焼鈍を施すことで歪誘起粒成長を生じやすい状態にするために好適な条件になっていると考えられる。

[0070] (スキンプス圧延工程)

スキンプス圧延工程では、前記中間焼鈍工程後の鋼板に対してスキンプス圧延を行う。上述したようにバルジングによって{411}結晶方位が富化した状態でスキンプス圧延および焼鈍を行うと、{411}結晶方位を有する結晶粒がさらに成長する。これはスキンプス圧延により、{411}結晶方位を有する結晶粒には歪がたまりにくく、{111}〈112〉や{111}〈110〉などの γ -fiberと呼ばれる{111}面方位を有する方位群に属する結晶粒には歪がたまりやすい性質があり、その後の焼鈍で歪の少ない{411}結晶方位を有する結晶粒が歪の差を駆動力にこれらの γ -fiber方位粒を蚕食するためである。歪差を駆動力にして発生するこの蚕食現象は歪誘起粒界移動（以下、SIBM）と呼ばれる。スキンプス圧延の圧下率は5%～20%未満とすることが好ましい。圧下率が5%未満では歪量が少なすぎるため、この後の焼鈍で歪誘起粒界移動（以下、SIBM）が起きなくなり、{411}結晶方位を有する結晶粒は大きくなる。一方、圧下率が20%以上では歪量が多くなり過ぎ、 γ -fiber方位を

有する結

晶粒の中から新しい結晶粒が生まれる再結晶核生成（以下Nucleation）が発生する。このNucleationではほとんどの生まれてくる粒が γ -fiber方位を有する結晶粒のため、磁気特性が悪くなる。この観点からは、スキンプス圧延の圧下率は8%～15%とすることがより好ましい。

[0071] なお、無方向性電磁鋼板において、前述した歪の分布を有するようにする場合には、冷間圧延の圧下率（%）をRR1、スキンプス圧延時の圧下率（%）をRR2とした場合に、 $88 < RR1 + 0.2 \times RR2 < 93$ 、 $5 \leq RR2 < 20$ を満たすように冷間圧延およびスキンプス圧延の圧下率を調整することが好ましい。

[0072] ここで、冷間圧延における圧下率RR1（%）は、次のとおり定義される。

圧下率RR1（%）＝（1－冷間圧延での最終パスの圧延後の板厚／冷間圧延での1パス目の圧延前の板厚）×100

また、スキンプス圧延における圧下率RR2（%）は、次のとおり定義される。

圧下率RR2（%）＝（1－スキンプス圧延での最終パスの圧延後の板厚／スキンプス圧延での1パス目の圧延前の板厚）×100

[0073] （最終焼鈍工程）

最終焼鈍工程では、前記スキンプス圧延後の鋼板に対して最終焼鈍を行う。この最終焼鈍により、スキンプス圧延による結晶方位毎の歪差を駆動力にしたSIBMが生じ、本開示が目的とする{411}結晶方位を有する結晶粒が優先的に成長し、鋼板の{411}結晶方位集積度が上昇する。この焼鈍条件は当業者であればSIBMの発生を確認しつつ適宜設定することが可能であり、特に限定するものではないが、一例として800℃で2時間の焼鈍を挙げることができる。

[0074] 以上のように本実施形態に係る無方向性電磁鋼板を製造することができる

。

この最終焼鈍は、スキンプス圧延後に例えば鋼板製造メーカーにおいて鋼板コイルの状態で、または切板として実施することが可能である。または、スキンプス圧延後、最終焼鈍を行わずに出荷し、モータ製造メーカーで鋼板をモータコアとしての所定の形状に加工し、積層した後、コア形状で実施することも可能である。後者の場合は、一般的にモータ製造メーカーでモータコアに対して行われる「歪取焼鈍」を兼ねて実施できる。

最終焼鈍を鋼板製造メーカーで実施し出荷されれば、モータ製造メーカーは本開示鋼板を使用して良好なモータ特性を得ることが可能となる。また、鋼板製造メーカーがスキンプス圧延までの鋼板を出荷し、これをモータ製造メーカーがモータコアに加工後、最終焼鈍を歪取焼鈍として施せば、やはり本開示鋼板を使用して良好なモータ特性を得ることが可能となる。

[0075] 本実施形態に係る無方向性電磁鋼板からなる鉄鋼部材は、例えば回転電機の鉄心（モータコア）に適用される。この場合、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板から個々の平板状薄板を切り出し、これらの平板状薄板を適宜積層することにより、回転電機に用いられる鉄心が作製される。この鉄心は、優れた磁気特性を有する無方向性電磁鋼板が適用されているために鉄損が低く抑えられており、優れたトルクを有する回転電機が実現する。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板からなる鉄鋼部材は、回転電機の鉄心以外の製品、例えばリニアモータや静止機（リアクトルや変圧器）等の鉄心にも適用することができる。

実施例

[0076] 次に、本開示の実施形態に係る無方向性電磁鋼板について、実施例を示しながら具体的に説明する。以下に示す実施例は、本開示の実施形態に係る無方向性電磁鋼板のあくまでも一例にすぎず、本開示に係る無方向性電磁鋼板が下記の例に限定されるものではない。

[0077] 溶鋼を鋳造することにより、以下の表1に示す成分のインゴットを作製し

た。なお、表1の「Co等」は、Co、Pt、Pb、Auの各含有量を示す。その後、作製したインゴットに対して、表2に示す条件で、熱間圧延工程、冷間圧延工程、中間圧延工程、スキンプス圧延工程、最終焼鈍工程を実施した。最終焼鈍工程における最終焼鈍は、表2に記載の温度で2時間の焼鈍とした。

そして、既述の方法について、下記特性について調べた。

- ・変態温度 A_{r3} (°C)
- ・板厚
- ・ $\{411\}$ 結晶粒の面積率 S_{ac}
- ・ $\{110\}$ 結晶粒の面積率 S_{ag}
- ・KAM値が高い側から20%までの領域において $\{411\}$ 結晶粒が占める面積率 S_{bc}
- ・圧延方向における磁束密度 B_{50L}
- ・圧延方向に対して45°方向の磁束密度 B_{50D}
- ・圧延方向に対して90°方向の磁束密度 B_{50C}

[0078] スキンプス圧延材の集合組織を調査するため、スキンプス圧延後の鋼板の一部を切除し、その切除した試験片を1/2の厚みに減厚加工し、その加工面（鋼板を鋼板の板面側から1/2研磨した研磨面）について上述の要領でEBSD観察(Step間隔: $0.3\mu m$)を行った。EBSD観察により、OIM Analysis 7.3を用いて、表3に示す種類の方位粒の面積を求めた。

次に、最終焼鈍後の鋼板から、測定試料として、55mm角の試料片を採取した。この際に、試料片の一辺が圧延方向と平行になる試料と、圧延方向に対し45度傾きを持つ試料を採取した。また、試料採取はせん断機を用いて実施した。

そして、圧延方向における磁束密度 B_{50L} 、圧延方向に対して45°方向の磁束密度 B_{50D} 、圧延方向に対して90°方向の磁束密度 B_{50C} をJISC 2556 (2015) に準じて測定した。測定結果を表3に示す。

[0079] また、次の評価も実施した。

[0080] (圧延性)

圧延性について、次の通り評価した。冷延板コイルの最外周長手方向先端（トップ部）から長手方向に 10 m 位置、コイルの最外周長手方向先端からコイル長手方向全長に対して 1/2 長さ位置（ミドル部）、コイルの最内周長手方向先端（ボトム部）から長手方向に 10 m 位置を中心とする、長手方向長さ 1 m の領域において、コイルの板幅方向両端面において長さ 1 cm 以上の割れが合計 2 ヶ所以上生じている場合は「N」、それ以外を「Y」とした。

なお、本実施例では冷延板コイルを圧延性の評価対象としたが、冷延板コイルから切り出された鋼板を評価する場合は、鋼板長手方向（圧延方向）における 3 か所以上の異なる位置において、上記と同様に板幅方向両側端面を観察してもよい。例えば、鋼板の長手方向長さに対して約 1/10、1/2、9/10 位置を中心とする、鋼板の長手方向全長の約 1/10 の範囲で観察すればよく、鋼板の長手方向全長は 1 m 以上とすればよい。

[0081]

[表1-1]

化学組成(残部はFeおよび不純物)											
鋼種	C	Si	solAl	Si,Al 合計	S	N	P	Mn	Cu	Ni	Mn,Cu,Ni 合計
	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]	[mass%]
A01	0.0015	3.10	0.30	3.40	0.002	0.0020	0.020	2.30	1.20	0.70	4.20
A02	0.0050	3.10	0.30	3.40	0.002	0.0018	0.020	2.10	0.02	0.01	2.13
A03	0.0025	3.90	0.30	4.20	0.0018	0.0018	0.020	2.30	0.02		2.32
A04	0.0019	3.10	0.30	3.40	0.002	0.0018	0.020	1.50	0.50	0.30	2.30
A05	0.0042	3.50	0.60	4.10	0.0053	0.0015	0.020	2.30	0.02		2.32
A06	0.0078	3.10	0.30	3.40	0.002	0.0018	0.020	0.20	1.20	0.70	2.10
A07	0.0015	3.20	0.30	3.50	0.0026	0.0023	0.020	2.30	0.02		2.32
A08	0.0043	3.10	0.30	3.40	0.0015	0.0018	0.020	2.10	0.02		2.12
A09	0.0092	3.10	0.90	4.00	0.0033	0.0035	0.020	2.30	0.02		2.32
A10	0.0036	2.90	0.30	3.20	0.0028	0.0018	0.020	2.30	0.02		2.32
A11	0.0023	3.10	0.30	3.40	0.002	0.0018	0.020	0.50	0.02		0.52
A12	0.0024	2.00	0.30	2.30	0.002	0.0026	0.020	1.60	0.58	0.30	2.48
A13	0.0017	3.10	0.30	3.40	0.002	0.0018	0.020	3.30	0.02		3.32
B01	0.0082	1.50	0.01	1.51	0.0017	0.0019	0.080	0.50	0.02		0.52
B02	0.0053	1.60	0.02	1.62	0.0019	0.0019	0.080	2.30	0.02		2.32
B03	0.0025	1.50	0.01	1.51	0.0017	0.0019	0.080	3.20	0.02		3.22
B04	0.0017	2.90	0.95	3.85	0.0007	0.0026	0.010	0.10	1.60	0.70	2.40
B05	0.0005	2.00	0.10	2.10	0.0095	0.0019	0.005	2.20	0.08	0.04	2.32
B06	0.0032	1.90	0.01	1.91	0.0005	0.0092	0.020	1.80	0.01		1.81
B07	0.0026	2.30	0.60	2.90	0.0011	0.0025	0.390	0.50	0.05	0.02	0.57
B08	0.0025	2.80	0.50	3.30	0.0005	0.0018	0.015	2.60	0.06	0.03	2.69

[0082]

[表1-2]

化学組成(残部はFeおよび不純物)										
鋼種	Co等 [mass%]	Mn,Cu,Ni, Co,Pt,Pb, Au合計 [mass%]	Ti [mass%]	Nb [mass%]	Mo [mass%]	Cr [mass%]	Sn [mass%]	Sb [mass%]	Mg等 [mass%]	Ar3 °C
A01		4.20								893
A02		2.13	0.0050				0.05			896
A03	Co0.05	2.37	0.0050							899
A04		2.30	0.0050	0.0031						898
A05		2.32	0.0050						Mg0.0050	909
A06		2.10	0.0050			0.1				945
A07	Pb0.02	2.34	0.0050							876
A08		2.12	0.0050						La0.0020, Nd0.0020	896
A09		2.32	0.0050						Pr0.0020	919
A10		2.32	0.0050						Ca0.0020,Ce0.0020	866
A11		0.52	0.0050	0.001					Sr0.0020, Cd0.0020	888
A12		2.48	0.0050						Ba0.0020, Zn0.0020	840
A13		3.32	0.0050				0.02			753
B01	Pt0.01 Au0.01	0.54	0.0050		0.5					968
B02		2.32	0.0050					0.01		817
B03		3.22	0.0050							708
B04		2.40	0.0023			0.1				956
B05		2.32	0.0015		0.0					816
B06		1.81	0.0005							871
B07		0.57	0.0023		2.4	2.5	0.1			785
B08		2.69	0.0023							835

[0083]

[表2-1]

No.	鋼種	変態点 Ar3温度 [°C]	熱間圧延工程					冷間圧延工程	中間焼鈍 工程	スギンバス圧延 工程	RR1+0.2×RR2	最終 焼鈍工程
			加熱温度 [°C]	Ar3+20°C からAr3での 圧下率	Ar3未満 からFTで の圧下率	仕上げ圧延 温度FT [°C]	巻取温度 [°C]					
1	A01	839	1150	20	25	690	400	圧下率RR1	焼鈍温度 T1	圧延圧下率RR2	92	焼鈍温度 T2
2	A02	896	1150	20	25	865	550	圧下率RR1	680	10	92	800
3	A03	899	1150	20	25	886	500	圧下率RR1	680	10	92	800
4	A04	898	1150	20	25	850	550	圧下率RR1	680	10	92	800
5	A05	909	1150	20	25	876	500	圧下率RR1	680	10	92	800
6	A06	945	1150	20	25	908	580	圧下率RR1	680	10	92	800
7	A07	876	1150	20	25	843	450	圧下率RR1	680	10	92	800
8	A08	896	1150	20	25	873	500	圧下率RR1	680	10	92	800
9	A09	919	1150	20	25	885	570	圧下率RR1	680	10	92	800
10	A10	866	1150	20	25	843	520	圧下率RR1	680	10	92	800
11	A11	1029	1230	20	25	1010	600	圧下率RR1	680	10	92	800
12	A12	840	1150	20	25	813	500	圧下率RR1	680	10	92	800
13	A13	753	1150	20	25	735	300	圧下率RR1	680	10	92	800
14	B01	968	1150	20	25	938	580	圧下率RR1	680	10	92	800
15	B02	817	1150	20	25	790	520	圧下率RR1	680	10	92	800
16	B03	706	1150	20	25	690	400	圧下率RR1	680	10	92	800
17	B04	956	1150	20	38	859	500	圧下率RR1	680	10	92	800
18	B05	816	1150	20	25	780	500	圧下率RR1	680	10	92	800
19	B06	871	1150	20	25	815	590	圧下率RR1	680	10	92	800
20	B07	785	1010	20	25	720	260	圧下率RR1	680	10	92	800
21	B08	835	1150	20	25	800	500	圧下率RR1	690	10	92	800

[表2-2]

No.	鋼種	変態点 A3温度 [°C]	熱間圧延工程					冷間圧延工程 圧下率RR1	中間焼純 工程 焼純温度 T1	スキム/バス圧延 工程 圧延圧下率Rs	RR1+0.2×RR2	最終 焼純工程 焼純温度 T2
			加熱温度 [°C]	Ar3+20°C からAr3で の圧下率	Ar3未満 からAr3で の圧下率	仕上げ圧延 温度FT [°C]	巻取温度 [°C]					
22	A02	896	1150	8	25	865	550	89	680	12	91.4	800
23	A02	896	1150	10	25	865	550	89	680	12	91.4	800
24	A02	896	1150	30	25	865	550	89	680	12	91.4	800
25	A02	896	1150	20	12	865	550	89	680	12	91.4	800
26	A02	896	1150	20	15	865	550	92	680	10	94.0	800
27	A02	896	1150	20	30	865	550	85	680	10	87.0	800
28	A02	896	1150	20	25	865	550	85	680	3	85.0	800
29	A02	896	1150	20	25	865	500	87	680	7	88.4	800
30	A02	896	1150	20	25	865	550	90	680	25	85.0	800
31	B02	817	1150	20	25	790	550	87	710	10	89.0	800
32	B02	817	1150	20	25	790	550	87	840	10	89.0	800
33	B02	817	1150	20	25	790	230	87	680	10	89.0	800
34	B02	817	1150	20	25	790	550	87	680	10	89.0	750
35	B04	956	1150	20	25	920	580	87	680	10	89.0	850
36	B04	956	1150	20	25	920	650	87	680	10	89.0	800

[0085]

[表3-1]

No.	鋼板の特徴				最終焼鈍後の磁気特性			圧延性	備考
	Sac	Sbc	Sag	板厚	B50L	B50D	B50C		
				mm	[T]	[T]	[T]		
1	0.108	0.061	0.033	0.25	1.567	1.705	1.525	Y	比較例
2	0.157	0.084	0.021	0.25	1.602	1.735	1.530	Y	開示例
3	0.176	0.062	0.009	0.25	1.621	1.761	1.530	Y	開示例
4	0.213	0.082	0.007	0.25	1.635	1.776	1.530	Y	開示例
5	0.187	0.072	0.013	0.25	1.605	1.758	1.530	Y	開示例
6	0.170	0.045	0.009	0.25	1.596	1.740	1.530	Y	開示例
7	0.200	0.046	0.011	0.25	1.628	1.755	1.530	Y	開示例
8	0.190	0.112	0.008	0.25	1.641	1.762	1.530	Y	開示例
9	0.181	0.075	0.009	0.25	1.601	1.763	1.530	Y	開示例
10	0.198	0.091	0.010	0.25	1.628	1.777	1.530	Y	開示例
11	0.090	0.045	0.080	0.25	1.540	1.692	1.530	Y	比較例
12	0.180	0.055	0.033	0.25	1.605	1.745	1.530	Y	開示例
13	0.174	0.075	0.008	0.25	1.592	1.755	1.502	N	比較例
14	0.192	0.096	0.008	0.25	1.652	1.768	1.530	Y	開示例
15	0.180	0.066	0.005	0.25	1.606	1.773	1.530	Y	開示例
16	0.189	0.080	0.062	0.25	1.625	1.698	1.502	N	比較例
17	0.212	0.103	0.043	0.25	1.652	1.723	1.501	Y	開示例
18	0.193	0.098	0.020	0.25	1.605	1.742	1.525	Y	開示例
19	0.182	0.072	0.009	0.25	1.612	1.735	1.52	Y	開示例
20	0.113	0.049	0.042	0.25	1.635	1.712	1.518	Y	開示例
21	0.162	0.085	0.025	0.25	1.613	1.735	1.531	N	比較例

[0086]

[表3-2]

No.	鋼板の特徴				最終焼鈍後のB50(T)			圧延性	備考
	Sac	Sbc	Sag	板厚 (mm)	B50L	B50D	B50C		
22	0.113	0.0452	0.021	0.25	1.572	1.725	1.563	Y	比較例
23	0.148	0.0592	0.025	0.25	1.598	1.730	1.453	Y	開示例
24	0.150	0.06	0.022	0.25	1.600	1.742	1.412	Y	開示例
25	0.105	0.042	0.042	0.25	1.535	1.723	1.467	Y	比較例
26	0.123	0.123	0.02	0.25	1.527	1.702	1.428	Y	開示例
27	0.110	0.045	0.058	0.25	1.586	1.695	1.435	Y	開示例
28	0.142	0.143	0.023	0.25	1.592	1.687	1.523	Y	比較例
29	0.152	0.101	0.016	0.25	1.606	1.725	1.580	Y	開示例
30	0.150	0.151	0.051	0.25	1.602	1.655	1.620	Y	比較例
31	0.110	0.101	0.058	0.25	1.596	1.689	1.498	Y	比較例
32	0.101	0.0404	0.002	0.25	1.532	1.723	1.479	Y	比較例
33	0.118	0.101	0.002	0.45	1.592	1.695	1.523	Y	比較例
34	0.14	0.063	0.023	0.25	1.612	1.729	1.525	Y	開示例
35	0.15	0.066	0.012	0.25	1.608	1.723	1.553	Y	開示例
36	0.108	0.101	0.022	0.20	1.588	1.682	1.552	Y	比較例

[0087] 以上の実施例からも理解されるように、本開示に係る無方向性電磁鋼板は、化学組成、熱間圧延条件、冷間圧延条件、中間焼鈍条件、スキンプス圧延条件及び最終焼鈍工程条件が適切に制御されることで、圧延方向から45°方向において優れた磁気特性を有する。また、圧延性にも問題がない。

産業上の利用可能性

[0088] 本開示によれば、圧延性に問題がなく、圧延方向から45°方向において優れた磁気特性を得ることができる無方向性電磁鋼板を提供できるため、産業上極めて有用である。

[0089] なお、日本国特許出願第2023-001936号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、および技術規格が参照により取り込まれること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。

請求の範囲

[請求項1]

質量%で、

C : 0.0100%以下、

Si : 1.50%~4.00%、

sol. Al : 0.0001%~1.0%、

S : 0.0100%以下、

N : 0.0100%以下、

Mn : 0.10%以上、

Mn、Ni、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2.50%未満、

Mo : 0.00%~2.50%未満、

Cr : 0.00%~2.50%未満、

Ti : 0.000%~0.005%、

Nb : 0.000%~0.005%、

Sn : 0.000%~0.400%、

Sb : 0.000%~0.400%、

P : 0.000%~0.400%、及び

Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn、及びCdからなる群から選ばれる1種又は複数種：総計で0.0000%~0.0100%を含有し、

質量%での、C含有量を[C]、Mo含有量を[Mo]、Cr含有量を[Cr]、Mn含有量を[Mn]、Ni含有量を[Ni]、Cu含有量を[Cu]、Si含有量を[Si]、sol. Al含有量を[sol. Al]、P含有量を[P]としたときに、以下の(1)式で定めた変態温度 A_{r3} (°C) が750~1050°Cであり、残部がFeおよび不純物からなる化学組成を有し、

かつ、板厚が0.50mm以下であり、

任意の断面における、{411}結晶粒の面積率を S_{ac} 、{11

0} 結晶粒の面積率を S_{ag} とし、KAM (Kernel Average Misorientation) 値が高い側から20%までの領域において {411} 結晶粒が占める面積率を S_{bc} としたとき、 $S_{ac} > 0.120$ 、 $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ かつ、 $0.050 > S_{ag}$ を満たす無方向性電磁鋼板。

$$A_{r3} (^\circ C) = 1020 - 325 \times [C] + 33 \times [Si] + 287 \times [P] + 80 \times [sol. Al] - 120 \times ([Mn] + [Mo] + [Cu]) - 46 \times ([Cr] + [Ni]) \quad \dots (1)$$

[請求項2]

質量%で、

C : 0.0100%以下、

Si : 1.50%~4.00%、

sol. Al : 0.0001%~1.0%、

S : 0.0100%以下、

N : 0.0100%以下、

Mn : 0.10%以上、

Mn、Ni、Co、Pt、Pb、Au、及びCuから選ばれる1種又は複数種：総計で2.50%未満、

Mo : 0.00%~2.50%未満、

Cr : 0.00%~2.50%未満、

Ti : 0.000%~0.005%、

Nb : 0.000%~0.005%、

Sn : 0.000%~0.400%、

Sb : 0.000%~0.400%、

P : 0.000%~0.400%、及び

Mg、Ca、Sr、Ba、Ce、La、Nd、Pr、Zn、及びCdからなる群から選ばれる1種又は複数種：総計で0.0000%~0.0100%を含有し、

質量%での、C含有量を $[C]$ 、Mo含有量を $[Mo]$ 、Cr含有量

を $[Cr]$ 、Mn含有量を $[Mn]$ 、Ni含有量を $[Ni]$ 、Cu含有量を $[Cu]$ 、Si含有量を $[Si]$ 、sol. Al含有量を $[sol. Al]$ 、P含有量を $[P]$ としたときに、以下の(1)式で定めた変態温度 A_{r3} (°C) が $750 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ であり、残部がFeおよび不純物からなる化学組成を有し、

かつ、板厚が 0.50 mm 以下であり、

任意の断面における、 $\{411\}$ 結晶粒の面積率を S_{ac} 、 $\{110\}$ 結晶粒の面積率を S_{ag} とし、KAM (Kernel Average Misorientation) 値が高い側から20%までの領域において $\{411\}$ 結晶粒が占める面積率を S_{bc} としたとき、 $S_{ac} > 0.120$ 、 $S_{ac} > S_{bc} > S_{ag}$ かつ、 $0.050 > S_{ag}$ を満たす無方向性電磁鋼板。

$$A_{r3} (\text{°C}) = 1020 - 325 \times [C] + 33 \times [Si] + 287 \times [P] + 80 \times [sol. Al] - 120 \times ([Mn] + [Mo] + [Cu]) - 46 \times ([Cr] + [Ni]) \quad \dots (1)$$

[請求項3]

圧延方向の磁束密度 B_{50} が 1.58 T 以上、かつ圧延方向に対して 45° 方向の磁束密度 B_{50} が 1.70 T 以上、である請求項1または2に記載の無方向性電磁鋼板。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/000134

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER C22C 38/00 (2006.01)i; C22C 38/60 (2006.01)i; H01F 1/147 (2006.01)i; C21D 8/12(2006.01)n FI: C22C38/00 303U; C22C38/60; H01F1/147 175; C21D8/12 A According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C22C38/00-C22C38/60; H01F1/147; C21D8/12; C21D9/46 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2021-134383 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 13 September 2021 (2021-09-13) entire text, all drawings	1-3
A	JP 2020-139198 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 03 September 2020 (2020-09-03) entire text	1-3
A	WO 2022/196805 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 22 September 2022 (2022-09-22) entire text	1-3
A	WO 2020/153387 A1 (JFE STEEL CORPORATION) 30 July 2020 (2020-07-30) entire text, all drawings	1-3
A	WO 2022/211007 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 06 October 2022 (2022-10-06) entire text	1-3
P, A	KR 10-2023-0094459 A (POSCO) 28 June 2023 (2023-06-28) entire text	1-3
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 22 March 2024		Date of mailing of the international search report 02 April 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/000134

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-134383	A	13 September 2021	(Family: none)	
JP	2020-139198	A	03 September 2020	(Family: none)	
WO	2022/196805	A1	22 September 2022	EP 4310202	A1
				entire text	
				TW 202248432	A
				CN 117098865	A
				KR 10-2023-0145142	A
				BR 112023018538	A2
WO	2020/153387	A1	30 July 2020	US 2022/0064751	A1
				entire text, all drawings	
				EP 3916113	A1
				TW 202028480	A
				KR 10-2021-0099111	A
				CN 113366124	A
				CA 3127170	A1
				MX 2021008802	A
				RU 2771133	C1
WO	2022/211007	A1	06 October 2022	US 2024/0043970	A1
				entire text	
				EP 4276210	A1
				TW 202248436	A
				KR 10-2023-0118706	A
				CN 116897213	A
				BR 112023014920	A2
KR	10-2023-0094459	A	28 June 2023	WO 2023/121200	A1
				entire text	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i; H01F 1/147(2006.01)i; C21D 8/12(2006.01)n
FI: C22C38/00 303U; C22C38/60; H01F1/147 175; C21D8/12 A

B. 調査を行った分野
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
C22C38/00-C22C38/60; H01F1/147; C21D8/12; C21D9/46
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2024年
日本国実用新案登録公報 1996-2024年
日本国登録実用新案公報 1994-2024年
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2021-134383 A（日本製鉄株式会社）13.09.2021（2021-09-13） 全文, 全図	1-3
A	JP 2020-139198 A（日本製鉄株式会社）03.09.2020（2020-09-03） 全文	1-3
A	WO 2022/196805 A1（日本製鉄株式会社）22.09.2022（2022-09-22） 全文	1-3
A	WO 2020/153387 A1（JFEスチール株式会社）30.07.2020（2020-07-30） 全文, 全図	1-3
A	WO 2022/211007 A1（日本製鉄株式会社）06.10.2022（2022-10-06） 全文	1-3
P, A	KR 10-2023-0094459 A（POSCO CO., LTD.）28.06.2023（2023-06-28） 全文	1-3

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“I” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
22.03.2024

国際調査報告の発送日
02.04.2024

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

鈴木 葉子 4K 3557

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/000134

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2021-134383	A	13.09.2021	(ファミリーなし)			
JP	2020-139198	A	03.09.2020	(ファミリーなし)			
WO	2022/196805	A1	22.09.2022	EP	4310202	A1	
				全文			
				TW	202248432	A	
				CN	117098865	A	
				KR	10-2023-0145142	A	
				BR	112023018538	A2	
WO	2020/153387	A1	30.07.2020	US	2022/0064751	A1	
				全文, 全図			
				EP	3916113	A1	
				TW	202028480	A	
				KR	10-2021-0099111	A	
				CN	113366124	A	
				CA	3127170	A1	
				MX	2021008802	A	
				RU	2771133	C1	
WO	2022/211007	A1	06.10.2022	US	2024/0043970	A1	
				全文			
				EP	4276210	A1	
				TW	202248436	A	
				KR	10-2023-0118706	A	
				CN	116897213	A	
				BR	112023014920	A2	
KR	10-2023-0094459	A	28.06.2023	WO	2023/121200	A1	
				全文			