(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
2025年1月2日(02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/005167 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) *H01F 1/147* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/023282

(22) 国際出願日： 2024年6月27日(27.06.2024)

(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 2023-106860 2023年6月29日(29.06.2023) 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: 中村 修一 (**NAKAMURA Shuichi**); 〒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). 牛神 義行 (**USHIGAMI Yoshiyuki**); 〒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: 松沼 泰史，外 (**MATSUNUMA Yasushi** et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２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: GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEEL SHEET

(54) 発明の名称： 方向性電磁鋼板

(57) Abstract: In this grain-oriented electrical steel sheet, the average value aveφ_L of an angle deviation φ determined at a plurality of measurement points at 1 mm intervals along the rolling direction L is 3.5° or less; particle sizes D_L10 representing 10% of particle sizes D_L determined along the rolling direction L, which have been arranged in descending order, in terms of the count from large to small are (100–15×aveφ_L) mm or less; and the average value aveD_C of particle sizes D_C determined along a direction C orthogonal to the rolling direction is 50 mm or more.

(57) 要約：この方向性電磁鋼板は、圧延方向Ｌに沿って間隔が１ｍｍの複数の測定点で求めた角度偏差φの平均値ａｖｅφ_Lが３．５°以下であり、圧延方向Ｌに沿って求めた粒径D_Lを大きい順に並べて大きい方から個数基準で１０％となる粒径D_L１０が（１００－１５×ａｖｅφ_L）ｍｍ以下であり、且つ圧延直角方向Ｃに沿って求めた粒径D_Cの平均値ａｖｅD_Cが５０ｍｍ以上である。

WO 2025/005167 A1

明　細　書

発明の名称 ： 方向性電磁鋼板

技術分野

[0001]　本発明は、方向性電磁鋼板に関する。

本願は、２０２３年６月２９日に、日本に出願された特願２０２３－１０６８６０号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002]　方向性電磁鋼板は、Ｓｉを含み、その結晶粒の結晶方位がゴス方位（立方晶｛１１０｝＜００１＞）近傍に集積しており、磁化容易軸である＜００１＞方位が鋼板製造工程における圧延方向にほぼ揃っている。このような方向性電磁鋼板は、トランスの鉄芯等の材料として非常に優れている。方向性電磁鋼板の重要な磁気特性の１つとして、磁束密度が挙げられる。

[0003]　所定の磁化力が印加されたときの方向性電磁鋼板の磁束密度は、結晶粒の磁化容易軸が鋼板の圧延方向に揃った度合い、すなわち結晶方位の配向性が高いものほど大きくなる傾向がある。磁束密度を表す指標として、一般的に磁束密度B_8が用いられる。磁束密度B_8は、８００Ａ／ｍの磁化力が圧延方向に印加されたときに、磁化された方向性電磁鋼板の磁束密度の値である。すなわち、磁束密度B_8の値が大きい方向性電磁鋼板ほど、一定の磁化力で磁化されやすく、磁束密度が大きくなるため、小型で効率の優れたトランスに適しているといえる。

[0004]　これまで、二次再結晶における結晶粒の成長を制御して磁束密度の高い鋼板を得る方法などが提案されている。例えば、特許文献１および２には、仕上げ焼鈍工程にて、一次再結晶粒を蚕食しつつある二次再結晶粒の先端領域で、鋼板に温度勾配を与えながら二次再結晶を進行させる方法が開示されている。

[0005]　温度勾配を用いて二次再結晶粒を成長させた場合、鋼板内で早期に二次再結晶開始状態に到達した部位から理想ゴス方位に近い方位を持つ二次再結晶

粒が生成し、この二次再結晶粒が温度勾配に起因して優先成長する。その結果、ゴス方位への集積度が高まり、磁束密度B_8が向上する。

[0006] しかし、温度勾配を用いて二次再結晶粒を成長させた場合、理想ゴス方位に近い方位を持つ結晶粒が優先成長するものの、二次再結晶粒が過度に大きくなりやすい。二次再結晶粒が過度に大きく成長すれば、二次再結晶粒の成長の先端領域では理想ゴス方位からのずれが大きくなり、磁束密度の向上効果が阻まれてしまうことがある。

[0007] 例えば、二次再結晶は、鋼板がコイルに巻かれた状態で進行する。つまり、二次再結晶粒は、鋼板が曲率を有している状態で成長する。しかし、二次再結晶粒は、結晶方位の直線性を保ちながら成長する。そのため、二次再結晶粒が大きく成長するほど、コイルの曲率に起因して、二次再結晶粒の成長の先端領域では理想ゴス方位からのずれが大きくなる。

[0008] 実際の結晶方位と理想ゴス方位とのずれは、ずれ角α、ずれ角β、及びずれ角γにより表すことができる。ずれ角αとは、圧延面法線方向Ｚから見たときに圧延面に射影した結晶の＜００１＞方向と圧延方向Ｌとがなす角である。ずれ角βは、圧延直角方向Ｃ（板幅方向）から見たときにＬ断面（圧延直角方向を法線とする断面）に射影した結晶の＜００１＞方向と圧延方向Ｌとがなす角である。ずれ角γは、圧延方向Ｌから見たときにＣ断面（圧延方向を法線とする断面）に射影した結晶の＜１１０＞方向と圧延面法線方向Ｚとがなす角である。

[0009] これらのずれ角α、β、γのうち、ずれ角αおよびβは、磁束密度に影響を与えることが知られている。ずれ角αおよびβの値が小さいほど、磁束密度B_8が向上する。

[0010] 加えて、ずれ角α、β、γのうち、ずれ角βは、磁歪に影響を与えることが知られている。ずれ角βの値が小さいほど、磁歪特性が向上する。なお、磁歪とは、磁性体が磁場印加によって形状変化する現象である。変圧器のトランスなどに用いられる方向性電磁鋼板では、磁歪が振動・騒音の原因となるため、磁歪が小さいことが求められている。例えば、特許文献３～５には

、ずれ角βを制御することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：日本国特開昭５７－００２８３９号公報

特許文献2：日本国特開昭６１－１９００１７号公報

特許文献3：日本国特開２００１－２９４９９６号公報

特許文献4：日本国特開２００５－２４０１０２号公報

特許文献5：日本国特開２０１５－２０６１１４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 上述したように、従来から方向性電磁鋼板の磁束密度を高めることが試みられてきた。例えば、鋼板に温度勾配を与えながら二次再結晶を進行させることによって、ゴス方位への集積度を高めて、磁束密度を向上させることが試みられてきた。

[0013] しかし、温度勾配を用いて二次再結晶粒を成長させた場合、二次再結晶粒が過度に大きくなり、理想ゴス方位からのずれが大きくなることが避けられなかった。そのため、磁束密度の向上効果が阻まれることがあった。加えて、磁歪特性が低下することがあった。

[0014] 本発明は、上記の課題に鑑みてなされた。本発明は、磁束密度および磁歪特性に優れる方向性電磁鋼板を提供すること目的とする。具体的には、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与する技術を適用したとしても、磁束密度および磁歪特性の両方に優れる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

[0015] 即ち、本発明の要旨とするところは以下のとおりである。

[0016] ［１］本発明の一態様に係る方向性電磁鋼板は、

圧延面法線方向Ｚを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をαと定義し

、

圧延直角方向Ｃを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をβと定義し、

圧延方向Ｌを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をγと定義し、

板面上の１つの測定点で測定する結晶方位のずれ角を（α　β　γ）と表し、

前記１つの測定点における角度偏差を$\phi=(\alpha^2+\beta^2)^{1/2}$と定義し、

圧延方向Ｌに沿って間隔が１ｍｍの複数の測定点で求めた角度偏差φの平均値を$\mathrm{ave}\,\phi_L$と定義したとき、

前記$\mathrm{ave}\,\phi_L$が、$\mathrm{ave}\,\phi_L \leqq 3.5°$を満たし、

前記板面上で隣接し且つ間隔が１ｍｍである２つの測定点で測定する結晶方位のずれ角を（α_1　β_1　γ_1）および（α_2　β_2　γ_2）と表し、

$[(\alpha_2-\alpha_1)^2+(\beta_2-\beta_1)^2+(\gamma_2-\gamma_1)^2]^{1/2} \geqq 1.0°$を満足する２つの測定点の中間点を粒界ＧＢと定義し、

前記粒界ＧＢに基づいて求める圧延方向Ｌの粒径を単位ｍｍでD_Lと定義し、

圧延方向Ｌに沿って求めた粒径D_Lを大きい順に並べて大きい方から個数基準で１０％となる粒径を単位ｍｍでD_L10と定義したとき、

前記D_L10が、$D_L10 \leqq 100-15\times\mathrm{ave}\,\phi_L$を満たし、

前記粒界ＧＢに基づいて求める圧延直角方向Ｃの粒径を単位ｍｍでD_Cと定義し、

圧延直角方向Ｃに沿って求めた粒径D_Cの平均値を$\mathrm{ave}\,D_C$と定義したとき、

前記$\mathrm{ave}\,D_C$が、$\mathrm{ave}\,D_C \geqq 50$を満たす。

発明の効果

[0017]　本発明の上記態様によれば、磁束密度および磁歪特性に優れる方向性電磁鋼板を提供することができる。具体的には、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与する技術を適用したとしても、磁束密度および磁歪特性の両方に優れる方向性電磁鋼板を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]局所急速加熱方法としてスポット通電加熱を用いた一例を示す図であり、脱炭焼鈍鋼板における局所加熱影響領域の配置の一例を示す模式図である。

[図2]脱炭焼鈍鋼板のゴス方位粒の分布を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0019] 本発明の好ましい一実施形態を詳細に説明する。ただ、本発明は本実施形態に開示の構成のみに制限されることなく、本発明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、下記する数値限定範囲には、下限値及び上限値がその範囲に含まれる。「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。また、化学組成に関する「％」は特に断りがない限り「質量％」を意味する。

[0020] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板（母材鋼板）は、

圧延面法線方向Ｚを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をαと定義し、

圧延直角方向Ｃを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をβと定義し、

圧延方向Ｌを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をγと定義し、

板面上の１つの測定点で測定する結晶方位のずれ角を（α　β　γ）と表し、

上記１つの測定点における角度偏差を$\phi=(\alpha^2+\beta^2)^{1/2}$と定義し、

圧延方向Ｌに沿って間隔が１ｍｍの複数の測定点で求めた角度偏差ϕの平均値を$\mathrm{ave}\,\phi_L$と定義したとき、

上記$\mathrm{ave}\,\phi_L$が、$\mathrm{ave}\,\phi_L \leqq 3.5°$を満たす。

[0021] 加えて、本実施形態に係る方向性電磁鋼板（母材鋼板）は、

上記板面上で隣接し且つ間隔が１ｍｍである２つの測定点で測定する結晶方位のずれ角を（α_1　β_1　γ_1）および（α_2　β_2　γ_2）と表し、

$[(\alpha_2-\alpha_1)^2+(\beta_2-\beta_1)^2+(\gamma_2-\gamma_1)^2]^{1/2} \geqq 1.0°$を満足する２つの測定点の中間点を粒界ＧＢと定義し、

上記粒界ＧＢに基づいて求める上記圧延方向Ｌの粒径を単位ｍｍでD_Lと定義し、

上記圧延方向Ｌに沿って求めた粒径D_Lを大きい順に並べて大きい方から個数基準で１０％となる粒径を単位ｍｍでD_L１０と定義したとき、

上記D_L１０が、$D_L10 \leqq 100-15\times ave\phi_L$を満たす。

[0022] 加えて、本実施形態に係る方向性電磁鋼板（母材鋼板）は、

上記粒界ＧＢに基づいて求める上記圧延直角方向Ｃの粒径を単位ｍｍでD_Cと定義し、

上記圧延直角方向Ｃに沿って求めた粒径D_Cの平均値を$aveD_C$と定義したとき、

上記$aveD_C$が、$aveD_C \geqq 50$を満たす。

[0023] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、上記したすべての条件を同時に満足する場合に、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与する技術を適用したとしても、磁束密度および磁歪特性の両方を向上させることが可能となる。

[0024] なお、本実施形態では、角度偏差ϕを、ずれ角αおよびずれ角βによって定義する。一般的な角度偏差θは、ずれ角α、ずれ角β、およびずれ角γの３つの成分によって評価することが多い。ただ、本実施形態では、磁束密度および磁歪特性への影響が小さいずれ角γを除いて、ずれ角αおよびずれ角βの２つの成分によって角度偏差ϕを定義する。この角度偏差ϕを用いて上記条件を満足させれば、上記効果を得ることができる。一方、結晶粒界および結晶粒径は、ずれ角α、ずれ角β、およびずれ角γの３つの成分に基づいて決定すればよい。

[0025] 上記$ave\phi_L$が３．５°以下であることは、圧延方向Ｌに沿う各測定点で角度偏差ϕが平均的に小さいことを意味する。すなわち、圧延方向Ｌと磁化容易軸方向との角度偏差が小さいことを意味する。その結果、磁気特性、特に磁束密度が好ましく高まる。$ave\phi_L$は、３．２°以下であることが好ましく、３．０°以下であることがより好ましく、２．７°以下であることがより好ましい。一方、$ave\phi_L$は、値が小さいほど好ましいので、下限は特

に限定されない。ただ、工業的にａｖｅϕ_Lをゼロにすることは容易ではないので、例えば、ａｖｅϕ_Lは、０．５°以上であればよく、１．０°以上であればよい。

[0026] 上記D_L１０が（１００－１５×ａｖｅϕ_L）ｍｍ以下であることは、圧延方向Ｌに対して結晶粒が粗大に成長していないことを意味する。圧延方向Ｌに対して結晶粒が粗大に成長しなければ、上記したずれ角のうち、特にずれ角βの増大を抑制することができる。ずれ角βの増大が抑制されれば、磁束密度の低下が抑制され、磁歪の増大も抑制される。D_L１０が上記条件を満足するとき、磁束密度および磁歪特性が好ましく向上する。D_L１０は、（９０－１５×ａｖｅϕ_L）ｍｍ以下であることがより好ましく、（８０－１５×ａｖｅϕ_L）ｍｍ以下であることがより好ましい。一方、D_L１０は、値が小さいほど好ましいので、下限は特に限定されない。例えば、D_L１０は、５ｍｍ以上であればよく、１０ｍｍ以上であればよい。

[0027] ａｖｅD_Cが５０ｍｍ以上であることは、結晶粒の形状が、圧延直角方向Ｃに延伸していることを表す。本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与する技術を適用することを前提する。そのため、二次再結晶粒が粗大に成長しやすい。ただ、本実施形態では、上記したように圧延方向Ｌに対して結晶粒が粗大に成長することを抑制する。一方、本実施形態では、圧延直角方向Ｃに対して結晶粒が粗大に成長することを許容する。本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与する技術を適用するため、二次再結晶粒が粗大に成長しやすく、ａｖｅD_Cが５０ｍｍ以上となる。ａｖｅD_Cは、８０ｍｍ以上であることが好ましく、１００ｍｍ以上であることがより好ましく、２００ｍｍ以上であることがより好ましい。一方、ａｖｅD_Cの上限は特に限定されない。例えば、結晶粒の圧延直角方向Ｃの粒径は、コイル幅（例えば、幅１０００ｍｍ）であってもよい。ａｖｅD_Cは、８００ｍｍ以下であればよく、５００ｍｍ以下であればよい。

[0028] なお、上記した、ずれ角α、ずれ角β、ずれ角γなどは、圧延面上に１ｍ

ｍ間隔で少なくとも５００点の測定点を含む測定線を設定して結晶方位を測定すればよい。例えば、結晶方位は、Ｘ線回折法（ラウエ法）により測定すればよい。ラウエ法とは、鋼板にＸ線ビームを照射して、透過または反射した回折斑点を解析する方法である。回折斑点を解析することによって、Ｘ線ビームを照射した場所の結晶方位を同定することができる。照射位置を変えて複数箇所で回折斑点の解析を行えば、各照射位置の結晶方位分布を測定することができる。ラウエ法は、粗大な結晶粒を有する金属組織の結晶方位を測定するのに適した手法である。

[0029] なお、結晶方位の測定点は少なくとも５００点であればよいが、二次再結晶粒の大きさに応じて、測定点を適切に増やすことが好ましい。例えば、結晶方位を測定する測定点を５００点としたときに測定線内に含まれる二次再結晶粒が１０個未満となる場合、測定線内に二次再結晶粒が１０個以上含まれるように１ｍｍ間隔の測定点を増やして上記の測定線を延長することが好ましい。また、一本の測定線で５００点の測定点を設定することが難しい場合には、複数の測定線を設定して合計で５００点以上の測定点で結晶方位を測定すればよい。

[0030] 圧延面上にて１ｍｍ間隔で結晶方位を測定し、その上で、各測定点に関して、上記したずれ角α、ずれ角β、ずれ角γなどを特定する。特定した各測定点でのずれ角に基づいて、角度偏差ϕ、ａｖｅϕ_L、粒界ＧＢ、粒径D_L、D_L１０、粒径D_C、ａｖｅD_Cを求めればよい。なお、D_L１０は、粒径D_Lが２ｍｍ以上となる結晶粒を大きい順に並べて大きい方から個数基準で１０％となる粒径を求めればよい。ａｖｅD_Cは、粒径D_Cが２ｍｍ以上となる結晶粒に基づいて平均粒径を求めればよい。また、ラウエ法による結晶方位の測定点で、Ｘ線ビームの照射領域が２つの結晶粒にまたがり、Ｘ線回折結果がどちらの結晶粒に由来するかを判定できない場合には、それら２つの結晶粒の結晶粒径にそれぞれ０．５ｍｍ加えればよい。

[0031] また、本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、下記の化学組成を有すればよい。

[0032] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、化学組成として、質量分率で、Ｓｉ：２．０％～７．０％を含有し、残部がＦｅ及び不純物からなればよい。

[0033] また、この方向性電磁鋼板は、磁気特性の改善を目的として、Ｆｅの一部に代えて、公知の任意元素を含有してもよい。任意元素は、下限値を設ける必要がなく、下限値が０％でもよい。また、任意元素は、磁束密度の低下や鉄損低下が顕著に発生しない範囲を上限とすればよい。各任意元素の目安となる上限値を下記に記す。

[0034] 具体的には、本実施形態に係る方向性電磁鋼板（母材鋼板）は、化学組成として、質量％で、

Ｓｉ：２．０～７．０％、
Ｃ：０～０．００５０％、
Ｍｎ：０～１．０％、
Ｓ及びＳｅ：合計で０～０．０１５０％、
Ａｌ：０～０．０６５０％、
Ｎ：０～０．００５０％、
Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びＷ：合計で０～０．０５０％、
Ｃｕ：０～０．４０％、
Ｂｉ：０～０．０１０％、
Ｂ：０～０．０８０％、
Ｐ：０～０．５０％、
Ｔｉ：０～０．０１５０％、
Ｓｎ：０～０．１０％、
Ｓｂ：０～０．１０％、
Ｃｒ：０～０．３０％、
Ｎｉ：０～１．０％、

を含有し、残部がＦｅおよび不純物からなればよい。

[0035] Ｓｉ：２．０～７．０％

Ｓｉ（シリコン）は、母材鋼板にとって基本元素である。Ｓｉ含有量が２

．０％未満であると、渦電流損を十分に低減できないため、良好な磁気特性が得られない。そのため、母材鋼板のＳｉ含有量は２．０％以上とする。Ｓｉ含有量は、好ましくは２．５０％以上、より好ましくは３．０％以上である。一方で、Ｓｉ含有量が７．０％を超えると、鋼板が脆化し、製造に際して通板性が顕著に劣化するので、母材鋼板のＳｉ含有量は７．０％以下とする。Ｓｉ含有量は、好ましくは４．５０％以下、より好ましくは４．０％以下である。

[0036] Ｃ：０～０．００５０％

Ｃ（炭素）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｃは鋼片（スラブ）に含有されるが、仕上げ焼鈍後の母材鋼板にＣが過剰に残留すると、良好な鉄損特性が得られないことがある。そのため、母材鋼板のＣ含有量は０．００５０％以下であればよい。Ｃ含有量は、好ましくは０．００４０％以下、より好ましくは０．００３０％以下である。一方で、母材鋼板のＣ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｃ含有量を０％にすることは工業的に容易ではないので、Ｃ含有量を、０％超としてもよく、０．００００１０％以上としてもよい。

[0037] Ｍｎ：０～１．０％

Ｍｎ（マンガン）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｍｎは鋼片（スラブ）に含有されるが、過剰に含有されると、二次再結晶焼鈍時に鋼が相変態し、二次再結晶が十分に進行せず、良好な磁気特性が得られないことがある。そのため、母材鋼板のＭｎ含有量は１．０％以下であればよい。Ｍｎ含有量は、好ましくは０．５０％以下、より好ましくは０．２０％以下である。一方で、母材鋼板のＭｎ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｍｎは、ＭｎＳやＭｎＳｅを形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ｍｎ含有量を、０％超としてもよく、０．００００１０％以上としてもよい。

[0038] Ｓ及びＳｅの合計：０～０．０１５０％

Ｓ（硫黄）及びＳｅ（セレン）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｓ

及びＳｅは鋼片（スラブ）に含有されるが、仕上げ焼鈍後の母材鋼板にＳ及びＳｅが過剰に残留すると、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＳ及びＳｅの合計含有量は０．０１５０％以下であればよい。Ｓ及びＳｅの合計含有量は、好ましくは０．０１０％以下、より好ましくは０．００５０％以下である。一方で、母材鋼板のＳ及びＳｅの合計含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｓ及びＳｅは、ＭｎＳやＭｎＳｅを形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ｓ及びＳｅの合計含有量を、０％超としてもよく、０．００００１０％以上としてもよい。

[0039] Ａｌ：０～０．０６５０％

Ａｌ（アルミニウム）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ａｌは鋼片（スラブ）に含有されるが、仕上げ焼鈍後の母材鋼板にＡｌが過剰に残留すると、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＡｌ含有量は０．０６５０％以下であればよい。Ａｌ含有量は、好ましくは０．０４０％以下、より好ましくは０．０３５％以下である。一方で、母材鋼板のＡｌ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ａｌは、ＡｌＮを形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ａｌ含有量を、０％超としてもよく、０．００００１０％以上としてもよい。なお、上記のＡｌ含有量は、酸可溶性Ａｌ（ｓｏｌ．Ａｌ）である。

[0040] Ｎ：０～０．００５０％

Ｎ（窒素）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｎは鋼片（スラブ）に含有されるが、仕上げ焼鈍後の母材鋼板にＮが過剰に残留すると、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＮ含有量は０．００５０％以下であればよい。Ｎ含有量は、好ましくは０．００４０％以下、より好ましくは０．００３０％以下である。一方で、母材鋼板のＮ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｎは、ＡｌＮを形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ｎ含有量を、０％超としてもよく、０．００００１０％以上としてもよい。

[0041] Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの合計：０～０．０５０％

Ｎｂ（ニオブ）、Ｖ（バナジウム）、Ｍｏ（モリブデン）、Ｔａ（タンタル）、Ｗ（タングステン）は、母材鋼板にとって選択元素である。母材鋼板にＮｂ群元素（Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの１種以上）が過剰に残留すると、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＮｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの合計含有量は、０．０５０％以下であればよい。Ｎｂ群元素は、好ましくは０．０３０％以下、好ましくは０．０２０％以下、より好ましくは０．０１０％以下である。一方で、母材鋼板のＮｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの合計含有量は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、またはWは、炭化物や窒化物や炭窒化物を形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの合計含有量を、０％超としてもよく、０．００３％以上としてもよい。

[0042] Ｃｕ：０～０．４０％

Ｃｕ（銅）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｃｕ含有量が０．４０％を超えると、熱間圧延中、鋼板が脆化することがある。そのため、母材鋼板のＣｕ含有量は０．４０％以下であればよい。Ｃｕ含有量は、好ましくは０．３０％以下、より好ましくは０．１０％以下である。一方で、Ｃｕ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｃｕは、Ｇｏｓｓ方位の集積度を高めて、磁気特性を改善させる効果を有するので、Ｃｕ含有量は、０％超としてもよく、０．０１０％以上としてもよい。

[0043] Ｂｉ：０～０．０１０％

Ｂｉ（ビスマス）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｂｉ含有量が０．０１０％を超えると、被膜密着性が低下することがある。また、仕上げ焼鈍時の純化が不十分でＢｉが過剰に残留すると、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＢｉ含有量は０．０１０％以下であればよい。Ｂｉ含有量は、好ましくは０．００５０％以下、より好ましくは０．００２０％以下、より好ましくは０．００１０％以下である。一方で、Ｂｉ

含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｂｉは、磁束密度を向上させる効果を有するので、Ｂｉ含有量は、０％超としてもよく、０．０００５０％以上としてもよい。

[0044] Ｂ：０～０．０８０％

Ｂ（ボロン）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｂ含有量が０．０８０％を超えると、磁束密度のばらつき（標準偏差）が大きくなることがある。そのため、Ｂ含有量は０．０８０％以下であればよい。Ｂｉ含有量は、好ましくは０．０７０％以下、より好ましくは０．０６０％以下である。一方で、Ｂ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｂは、窒化物を形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ｂ含有量は、０％超としてもよく、０．０００５０％以上としてもよい。

[0045] Ｐ：０～０．５０％

Ｐ（燐）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｐ含有量が０．５０％を超えれば、鋼板の加工性が顕著に低下することがある。そのため、母材鋼板のＰ含有量は０．５０％以下であればよい。Ｐ含有量は、好ましくは０．３０％以下、より好ましくは０．１０％以下である。一方で、Ｐ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｐは、集合組織を改善し、鋼板の磁気特性を改善する効果を有するので、Ｐ含有量を、０％超としてもよく、０．００２０％以上としてもよい。

[0046] Ｔｉ：０～０．０１５０％

Ｔｉ（チタン）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｔｉ含有量が０．０１５０％を超えれば、磁気特性がに低下することがある。そのため、母材鋼板のＴｉ含有量は０．０１５０％以下であればよい。Ｔｉ含有量は、好ましくは０．０１３０％以下、より好ましくは０．０１０％以下である。一方で、Ｔｉ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｔｉは、炭化物や窒化物や炭窒化物を形成して二次再結晶時のインヒビターとしての効果を有するので、Ｔｉ含有量を、０％超としてもよく、０．００２０％以上としてもよい。

[0047] Ｓｎ：０～０．１０％

Ｓｎ（スズ）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｓｎ含有量が０．１０％を超えると、二次再結晶が不安定となり、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＳｎ含有量は０．１０％以下であればよい。Ｓｎ含有量は、好ましくは０．０９０％以下、より好ましくは０．０８０％以下である。一方で、Ｓｎ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｓｎは、Ｇｏｓｓ方位の集積度を高めて、磁気特性を改善させる効果を有するので、Ｓｎ含有量は、０％超としてもよく、０．００５０％以上としてもよい。

[0048] Ｓｂ：０～０．１０％

Ｓｂ（アンチモン）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｓｂ含有量が０．１０％を超えると、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＳｂ含有量は０．１０％以下であればよい。Ｓｂ含有量は、好ましくは０．０９０％以下、より好ましくは０．０８０％以下である。一方で、Ｓｂ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｓｂは、インヒビターとして機能して二次再結晶を安定化する効果を有するので、Ｓｂ含有量は、０％超としてもよく、０．０１０％以上としてもよい。

[0049] Ｃｒ：０～０．３０％

Ｃｒ（クロム）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｃｒ含有量が０．３０％を超えると、Ｃｒ酸化物を形成し、磁気特性に悪影響を及ぼすことがある。そのため、母材鋼板のＣｒ含有量は０．３０％以下であればよい。Ｃｒ含有量は、好ましくは０．２０％以下、より好ましくは０．１０％以下である。一方で、Ｃｒ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｃｒは、Ｇｏｓｓ方位の集積度を高めて、磁気特性を改善させる効果を有するので、Ｃｒ含有量は、０％超としてもよく、０．０１０％以上としてもよい。

[0050] Ｎｉ：０～１．０％

Ｎｉ（ニッケル）は、母材鋼板にとって選択元素である。Ｎｉ含有量が１

．０％を超えると、二次再結晶が不安定になることがある。そのため、母材鋼板のＮｉ含有量は１．０％以下であればよい。Ｎｉ含有量は、好ましくは０．２０％以下、より好ましくは０．１０％以下である。一方で、Ｎｉ含有量の下限値は、特に制限されず、０％であればよい。ただ、Ｎｉは、電気抵抗を高めて鉄損を低減する効果を有するので、Ｎｉ含有量は、０％超としてもよく、０．０１０％以上としてもよい。

[0051] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板の母材鋼板は、不純物を含有してもよい。なお、「不純物」とは、鋼を工業的に製造する際に、原料としての鉱石やスクラップから、または製造環境等から混入するものを指す。

[0052] 上記した母材鋼板の化学組成は、一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、ＩＣＰ－ＡＥＳ（Ｉｎｄｕｃｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ－Ａｔｏｍｉｃ Ｅｍｉｓｓｉｏｎ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）を用いて測定すればよい。なお、酸可溶性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、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。

[0053] なお、上記の化学組成は、母材鋼板の成分である。測定試料となる方向性電磁鋼板が、表面に絶縁被膜等を有している場合は、被膜等を下記の方法で除去してから化学組成を測定する。

[0054] 例えば、絶縁被膜の除去方法として、被膜を有する方向性電磁鋼板を、高温のアルカリ溶液に浸漬すればよい。具体的には、ＮａＯＨ：３０～５０質量％＋H_2O：５０～７０質量％の水酸化ナトリウム水溶液に、８０～９０℃で５～１０分間、浸漬した後に、水洗して乾燥することで、方向性電磁鋼板から絶縁被膜を除去できる。なお、絶縁被膜の厚さに応じて、上記の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬する時間を変えればよい。

[0055] また、フォルステライト被膜（グラス被膜）の除去方法として、上記方法で絶縁被膜を除去した電磁鋼板を、高温の塩酸に浸漬すればよい。具体的には、溶解したいフォルステライト被膜を除去するために好ましい塩酸の濃度

を予め調べ、この濃度の塩酸（例えば３０～４０質量％塩酸）に、８０～９０℃で１～５分間、浸漬した後に、水洗して乾燥させることで、フォルステライト被膜が除去できる。通常は、絶縁被膜の除去にはアルカリ溶液を用い、フォルステライト被膜の除去には塩酸を用いるように、処理液を使い分けて各被膜を除去する。

[0056] 以下に、本実施形態に係る方向性電磁鋼板を得るに至った経緯を説明する。

[0057] 理想ゴス方位である｛１１０｝＜００１＞方位との角度偏差θや角度偏差φが小さい実用ゴス方位粒は、一次焼鈍（脱炭焼鈍）の加熱速度を速めるに従い存在頻度が増加する。それに対し、ゴス方位とΣ９の対応方位関係もつ｛７７８｝＜４４７＞（≒｛１１１｝＜１１２＞）方位や｛４１１｝＜１４８＞方位などのゴス方位粒に蚕食されやすい結晶粒（対応方位粒とよぶ）は、一次焼鈍の加熱速度が速くなると逆に存在頻度が減少する。そのため、一次焼鈍にて、実用ゴス方位粒の比率を増大しつつ対応方位粒の比率をも増大することは困難であった。

[0058] 本実施形態では、冷延鋼板に局所急速加熱を行って局所加熱領域を形成し、一次焼鈍（脱炭焼鈍）の焼鈍条件を制御し、且つ二次焼鈍（仕上げ焼鈍）の焼鈍条件を制御することにより、優れた品質を有する方向性電磁鋼板が得られることをはじめて知見した。

[0059] 一次焼鈍前に形成する局所加熱領域は、鋼板の表面に対して局所的に配置される。この局所加熱領域の結晶組織は、局所急速加熱終了時点で、再結晶組織と回復組織の一方又は両方からなる。鋼板表面のうち、局所加熱領域以外の非急速加熱部の結晶組織は、冷間圧延ままである冷間加工組織からなる。

[0060] 上記の局所急速加熱は、加熱速度が５００℃／秒以上、好ましくは２０００℃／秒以上、さらに好ましくは１００００℃／秒以上であることが好ましい。このように、一次焼鈍前に鋼板の表面に局所加熱領域を形成した上で、この鋼板に一次焼鈍を実施すると、局所急速加熱で熱影響を受けた領域（局

所加熱影響領域）には、実用ゴス方位を有する結晶粒が多数形成されることがわかった。また、形成されるゴス方位粒のうちで、理想ゴス方位との角度偏差θや角度偏差φがより小さいゴス方位粒の比率が高くなるとともに、一次焼鈍後のゴス方位粒の粒径が増大することも明らかとなった。

[0061] 局所加熱影響領域に含まれる粗大ゴス方位粒の頻度は、通常の板全体の急速加熱で得られる頻度よりも大きくなる。この特徴は、局所加熱領域の周辺部が歪を多く残した加工組織であることに起因すると考えられる。具体的には、局所急速加熱を行った場合、局所加熱領域に発生した実用ゴス方位粒が、一次焼鈍時に、周辺部であり且つ歪を多く残す未再結晶領域を優先的に蚕食して大径化するが、鋼板全体加熱の場合、再結晶粒の生成と成長が鋼板内で均一に生じるため、上記のような大径化が起こらないと考えられる。

[0062] 一次焼鈍によって上記の特徴を有する局所加熱影響領域を鋼板表面に散在させた上で、さらに二次焼鈍を行う。二次焼鈍では、鋼板に温度勾配を与えながら二次再結晶を進行させる。この際、局所加熱影響領域に形成されたゴス方位粒が、二次焼鈍時に優先的に成長する。局所加熱影響領域には多数のゴス方位粒が形成され、その中には、角度偏差θや角度偏差φが特に小さい、理想ゴス方位に近い粒であって、一次焼鈍後の結晶粒径が大きいゴス方位粒が含まれており、二次再結晶ではこのようなゴス方位粒が特に優先的に成長する。

[0063] なお、二次再結晶の核となるゴス方位粒は局所加熱影響領域に供給されるので、局所加熱影響領域以外のマトリックス部分、すなわち局所加熱非影響領域については、一次焼鈍でゴス方位粒を形成する必要がない。従って、一次焼鈍の熱処理条件として、加熱速度が低い緩加熱条件とし、蚕食されやすい｛１１１｝＜１１２＞方位や｛４１１｝＜１４８＞方位をもつ対応方位粒を、局所加熱非影響領域に多く形成するような一次焼鈍条件を採用してもよい。例えば、一次焼鈍の加熱速度を３００℃／秒以下とすることにより、局所加熱影響領域には理想ゴス方位に近くかつ結晶粒径の大きなゴス方位粒が多数形成され、一方で局所加熱非影響領域にはゴス方位粒がほとんど形成さ

れず、逆に対応方位粒を多く形成することができる。

[0064] 上記のように、局所急速加熱と一次焼鈍とが終了した鋼板（脱炭焼鈍鋼板）の局所加熱影響領域には、理想ゴス方位に近くかつ粒径の大きいゴス方位粒が多く存在している。一方で、マトリックス部（局所加熱非影響領域）には大径化したゴス方位粒がほとんど存在せず、蚕食されやすい対応方位粒を多く存在させることもできる。

[0065] このような鋼板（脱炭焼鈍鋼板）を二次焼鈍すると、局所加熱影響領域内に存在し、理想ゴス方位に近くかつ粒径の大きいゴス方位粒が、優先成長を開始し、局所加熱非影響領域に向かって成長していく。

[0066] 加えて、本実施形態では、二次焼鈍で、一次再結晶粒を蚕食しつつある二次再結晶粒の先端領域で、鋼板に温度勾配を与えながら二次再結晶を進行させる。温度勾配を用いて二次再結晶粒を成長させた場合、鋼板内で早期に二次再結晶開始状態に到達した部位から理想ゴス方位に近い方位を持つ二次再結晶粒が生成し、この二次再結晶粒が温度勾配に起因して優先成長する。その結果、ゴス方位への集積度が好ましく高まる。上記の温度勾配を与える方向は圧延直角方向Ｃとすればよい。

[0067] 従来、温度勾配を用いて二次再結晶粒を成長させた場合、二次再結晶粒が過度に大きくなり、コイルセットによるずれ角βの悪化を避けられなかった。具体的には、例えば二次焼鈍時の温度勾配を圧延垂直方向Ｃにつけた場合、鋼板低温側（圧延垂直方向Ｃ）に二次再結晶ゴス方位粒が成長しやすいが、その際、圧延方向Ｌにも二次再結晶粒が成長する。そのため、圧延方向の結晶粒径D_Lも大きくなる。すなわち、従来技術では、磁束密度を高めようとするほど、圧延方向の結晶粒径D_Lが大きくなってしまい、その結果、コイルセットによるずれ角βの増大が避けられなかった。ただ、本実施形態では、上記した局所急速加熱により、理想ゴス方位に近い二次再結晶粒の存在頻度を増加させることができるため、圧延方向の結晶粒径D_Lの増大を抑制でき、コイルセットによるずれ角βの悪化を抑制することができる。このように、本実施形態では、ずれ角βの悪化を抑制することによって、従来よりも磁束

密度および磁歪特性に優れる鋼板を得ることができる。加えて、本実施形態では、理想ゴス方位に近い方位を持つ二次再結晶粒が優先的に生成するため、ずれ角αの悪化も抑制することができる。よって、従来よりも磁束密度に優れる鋼板を得ることができる。

[0068] 以下に、本発明者らが行った検討内容を具体的に説明する。

[0069] 上記した局所急速加熱の一態様として、電気抵抗加熱によるスポット通電加熱を用いた場合について説明する。スポット通電加熱は、鋼板の両面に対向してスポット電極を圧着し、スポット電極間に電流を流すことによって鋼板の電極保持部をスポット通電加熱する。表１に示す成分を有する鋼を用い、熱間圧延及び冷間圧延によって板厚０．２２ｍｍの冷延鋼板とした。この鋼板にスポット通電加熱を施した。スポット通電加熱は、直径３ｍｍの銅電極を用い、通電電流を鋼板表面が溶融しない範囲である５．０ｋＡ以下、通電時間を２０ミリ秒～８０ミリ秒、電極加圧力を５０ｋｇｆ～１５０ｋｇｆ、通電後電極保持時間を０．２秒の条件で実施した。冷延鋼板の表面に対して、冷延鋼板の圧延直角方向の端部から１０ｍｍの位置に、圧延方向に２０ｍｍピッチでスポット通電加熱を行い、局所加熱領域を形成した。この冷延鋼板を脱炭焼鈍（一次焼鈍）に供した。脱炭焼鈍では、冷延鋼板を、加熱速度２０℃／秒で昇温し、８３０℃で９０秒間保持した。

[0070] 図１に、上記条件で製造した脱炭焼鈍鋼板における局所加熱影響領域の配置の一例を示す。図１中に、脱炭焼鈍鋼板１、局所加熱影響領域２、圧延方向２１、および幅方向（圧延直角方向）２２を模式的に示す。

[0071] [表1]

成分(質量%)					
C	Si	Mn	S	Al	N
0.06	3.35	0.1	0.007	0.027	0.008

[0072] 脱炭焼鈍鋼板（局所急速加熱後で且つ一次焼鈍後の鋼板）の表面について、ＥＢＳＤ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｂａｃｋ Ｓｃａｔｔｅｒｉｎｇ Ｄｉｆ

ｆｒａｃｔｉｏｎ　ｐａｔｔｅｒｎ）による観察面を準備するため、機械研磨により平滑な表面を作成し、表面の加工歪を除去するために電解研磨を行い、ＥＢＳＤによって局所加熱領域を含む領域について０．５μｍステップでＩＱ（Ｉｍａｇｅ　Ｑｕａｌｉｔｙ）値および結晶方位の測定を行った。図２は、上記条件で製造した脱炭焼鈍鋼板のゴス方位粒の分布を示す模式図である。

[0073]　スポット通電加熱に用いる通電電極は、円形状であり、その直径は、円相当径で０．５ｍｍφ～１０ｍｍφであることが好ましく、１ｍｍφ～５ｍｍφであることがより好ましい。なお、上記では円形状の通電電極を用いたが、冷延鋼板の加熱速度を局所的に速くし、この領域にゴス方位粒を形成して粒成長させればよく、電極形状は他の形状、例えば、楕円形、線状であってもよい。

[0074]　図２では、角度偏差φ＝（$\alpha^2+\beta^2$）$^{1/2}$の定義に基づいて、理想ゴス方位との角度偏差φが１０°以下の結晶粒（ゴス方位粒１４）を「○」で表示した。さらに、角度偏差φが１０°以下の結晶粒の中から、結晶粒径が粗大な結晶粒（粗大ゴス方位粒１５）を「◎」で表示した。なお、粗大ゴス方位粒１５とは、平均結晶粒径と比較して、粒径が３倍以上となるゴス方位粒を意味する。

[0075]　図２に示すように、上記条件で製造した脱炭焼鈍鋼板１は、ゴス方位粒１４を含むとともに、粗大ゴス方位粒１５を含む。特に、粗大ゴス方位粒１５が含まれる領域は、局所加熱影響領域２に対応する。なお、図２中には、模式的に、局所加熱領域境界４および局所加熱影響領域境界５を図示しているが、これらの境界を組織観察によって判別することは容易ではない。ただ、粗大ゴス方位粒１５が含まれる領域を、局所加熱影響領域２と見なすことができる。

[0076]　上記の脱炭焼鈍鋼板について、さらに窒化処理をした後、ＭｇＯを主成分とした焼鈍分離剤を塗布したのち、二次焼鈍を行った。二次焼鈍条件は、水素窒素雰囲気、昇温速度：１５℃／ｈｒ（℃／時間）、保持：１２００℃－

２０ｈｒ（時間）である。加えて、二次焼鈍の加熱時には、鋼板中の一次再結晶領域と二次再結晶領域との境界部位で圧延垂直方向に５℃／ｃｍの温度勾配を与えた。

[0077] 得られた鋼板にマクロエッチングを行い、結晶粒界を現出させた。マクロエッチング後の鋼板で局所加熱影響領域に対応する箇所を観察したところ、局所加熱影響領域に対応する箇所から複数の二次再結晶粒が成長している場合や、局所加熱影響領域に対応する箇所の中心から二次再結晶粒が広がっている様子が観察された。また、局所加熱影響領域に対応する箇所では、２ｍｍ以下の微小粒が局所加熱影響領域の痕跡として観察される場合とされない場合があった。局所加熱の条件により、二次再結晶マクロ組織が多少変化する場合はあるものの、局所加熱処理をしない場合に比べて、ゴス方位への集積度を高めることができた。

[0078] 加えて、得られた鋼板の結晶方位を上記したラウエ法によって測定した。得られた鋼板は、ａｖｅϕ_Lが３．５°以下であり、D_L１０が（１００－１５×ａｖｅϕ_L）ｍｍ以下であり、且つａｖｅD_Cが５０ｍｍ以上であった。結果として、得られた鋼板は、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与したにもかかわらず、磁束密度および磁歪の両方に優れていた。

[0079] 上述のように、得られた方向性電磁鋼板は、二次再結晶粒の結晶方位と理想ゴス方位とのずれが極めて小さいことが確認でき、且つ、圧延方向Ｌに沿う各測定点で角度偏差φが平均的に小さく、圧延方向Ｌに対して結晶粒が粗大に成長しておらず、結晶粒の形状が圧延直角方向Ｃに延伸して圧延方向Ｌにつぶれた扁平傾向を有することが確認できた。

[0080] 上記の検討結果を考慮すると、脱炭焼鈍鋼板にサイズアドバンテージをもった理想ゴス方位に近い粗大ゴス方位粒を形成させることが、二次再結晶方位が良好となった原因と考えられる。加えて、一次焼鈍前に局所加熱領域を好ましく配置させ、一次焼鈍時の焼鈍条件を好ましく制御し、且つ二次焼鈍時の焼鈍条件を好ましく制御したことが、磁束密度および磁歪の何れもが向上した原因と考えられる。

[0081] 例えば、上記の脱炭焼鈍鋼板を用いた場合、二次再結晶時に、局所加熱影響領域内の多数のゴス方位粒のうち、理想ゴス方位に近い粗大ゴス方位粒（結晶粒径が大きなゴス方位粒）が優先的に成長する。そのため、二次再結晶粒を大きく成長させなくても、理想ゴス方位に近い二次再結晶粒で占められた鋼板とすることができる。例えば、局所加熱影響領域を鋼板表面に散在させるに当たり、鋼板表面における局所加熱影響領域を適切に配置することにより、二次焼鈍後の結晶粒の大きさ、形状、配置を制御することができる。例えば、１つの局所加熱影響領域から成長を開始したゴス方位粒が、隣接する局所加熱影響領域から成長を開始した別のゴス方位粒と衝突することで粒成長が止まれば、二次焼鈍終了時のゴス方位粒の粒径（特に圧延方向の結晶粒径D_L）が小さい鋼板とすることができる。特に、前述のとおり、二次焼鈍の初期段階において、局所加熱影響領域から優先成長するゴス方位粒は、理想ゴス方位に近い結晶方位を有しているので、二次再結晶粒径が小さいにもかかわらず、良好な磁束密度を得ることができる。加えて、圧延方向Ｌに対して結晶粒が粗大に成長することが抑制されるので、コイルセットによるずれ角βの悪化を抑制することができ、良好な磁歪特性を得ることができる。

[0082] つまり、上記の方向性電磁鋼板は、二次再結晶粒径（特に圧延方向の結晶粒径D_L）の粗大化を抑制しながらゴス方位への集積度を高めることができるので、歪み導入や溝形成による磁区幅細分化を行う必要がないかもしくは低減することができる。具体的には、二次再結晶粒径の微細化に伴って増える粒界によって好ましく磁区細分化効果を得ることができるため、従来の磁区制御技術を適用しなくても磁区が細分化される。そのため、従来の磁区制御技術のように、鋼板に歪を導入する必要がないかもしくは低減することができるため、磁歪の増大を防止することができる。また、従来の磁区制御技術のように、鋼板に溝を形成する必要がないかもしくは溝深さを低減できるため、磁束密度B_8の低下を防止することができる。また、上記の方向性電磁鋼板は、８００℃以上の歪み取り焼鈍を必要とする用途に用いることができる。

[0083] なお、本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、上記のように、二次再結晶粒径（特に圧延方向の結晶粒径D_L）の微細化に伴って増える粒界によって好ましく磁区細分化効果を得ることができるため、鉄損特性にも優れる。

[0084] 次に、本実施形態に係る方向性電磁鋼板の好ましい製造方法について説明する。

[0085] なお、本実施形態に係る方向性電磁鋼板を製造する方法は、下記の方法に限定されない。下記の製造方法は、本実施形態に係る方向性電磁鋼板を製造するための一つの例である。

[0086] また、以下に示す工程および各工程での定量的な条件は、本実施形態の実施可能性を示すために採用した一例であり、本実施形態は、これら工程および定量値に限定されるものではない。本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造方法は、本実施形態の要旨を逸脱せず、本実施形態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。

[0087] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造方法は、基本的な工程として、従来の公知の方向性電磁鋼板の製造方法を適用することができる。例えば、従来の方向性電磁鋼板の製造方法としては、高温スラブ加熱によってＭｎＳやＡｌＮなどのインヒビターを形成する製造方法や、低温スラブ加熱と窒化処理によってＡｌＮインヒビターを形成させる製造方法などが例示される。本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造方法は、特定の製造方法に限定されない。以下では、低温スラブ加熱プロセスとして窒化処理を適用する方法を説明する。

[0088] （鋳造工程）

鋳造工程では、スラブを準備する。スラブの製造方法の一例は次のとおりである。溶鋼を製造（溶製）する。溶鋼を用いてスラブを製造する。連続鋳造法によりスラブを製造してもよい。溶鋼を用いてインゴットを製造し、インゴットを分塊圧延してスラブを製造してもよい。スラブの厚さは、特に限定されない。スラブの厚さは、たとえば、１５０～３５０ｍｍである。スラブの厚さは、好ましくは、２２０～２８０ｍｍである。スラブとして、厚さ

が１０～７０ｍｍの、いわゆる薄スラブを用いてもよい。薄スラブを用いる場合、熱間圧延工程において、仕上げ圧延前の粗圧延を省略できる。

[0089] 例えば、上記のスラブは、化学組成として、次の元素を含有すればよい。

[0090] Ｃ：０．０８５％以下、

炭素（Ｃ）は、製造工程においては一次再結晶組織の制御に有効な元素であるものの、最終製品への含有量が過剰であると磁気特性に悪影響を及ぼす。したがって、Ｃ含有量は０．０８５％以下である。Ｃ含有量の好ましい上限は０．０７５％である。Ｃは脱炭焼鈍工程及び仕上げ焼鈍工程で純化され、０．００５％以下となる。Ｃを含む場合、工業生産における生産性を考慮すると、Ｃ含有量の下限は０％超であってもよく、０．００１％であってもよい。

[0091] Ｓｉ：２．０～７．０％

シリコン（Ｓｉ）は、方向性電磁鋼板の電気抵抗を高めて鉄損を低下させる。Ｓｉ含有量が２．０％未満であれば、仕上げ焼鈍時にγ変態が生じて、方向性電磁鋼板の結晶方位が損なわれてしまう。一方、Ｓｉ含有量が７．０％を超えれば、冷間加工性が低下して、冷間圧延時に割れが発生しやすくなる。Ｓｉ含有量の好ましい下限は２．５％であり、さらに好ましくは３．０％である。Ｓｉ含有量の好ましい上限は４．５％であり、さらに好ましくは４．０％である。

[0092] Ｍｎ：０．０５～１．００％

マンガン（Ｍｎ）はＳ又はＳｅと結合して、ＭｎＳ、又は、ＭｎＳｅを生成し、インヒビターとして機能する。Ｍｎを含有させる場合、Ｍｎ含有量が０．０５～１．００％の範囲内にある場合に、二次再結晶が安定する。なお、インヒビターの機能の一部をＮｂ群元素の窒化物によって担うことが可能である。この場合は、一般的なインヒビターとしてのＭｎＳ、又は、ＭｎＳｅ強度は弱めに制御する。このため、Ｍｎ含有量の好ましい上限は０．５０％であり、さらに好ましくは０．２０％である。

[0093] Ｓ及びＳｅの少なくとも一方：合計で０．００３～０．０３５％

硫黄（Ｓ）及びセレン（Ｓｅ）は、Ｍｎと結合して、ＭｎＳ又はＭｎＳｅを生成し、インヒビターとして機能する。Ｓ及びＳｅの少なくとも一方を含有させる場合、Ｓ及びＳｅの含有量が合計で０．００３～０．０３５％であれば、二次再結晶が安定する。なお、インヒビターの機能の一部をＮｂ群元素の窒化物によって担うことが可能である。この場合は、一般的なインヒビターとしてのＭｎＳ、又は、ＭｎＳｅ強度は弱めに制御する。このため、Ｓ及びＳｅ含有量の合計の好ましい上限は０．０２５％であり、さらに好ましくは０．０１０％である。Ｓ及びＳｅは仕上げ焼鈍後に残留すると化合物を形成し、鉄損を劣化させる。そのため、仕上げ焼鈍中の純化により、Ｓ及びＳｅをできるだけ少なくすることが好ましい。

[0094] ここで、Ｓ及びＳｅの合計含有量は、Ｓ及びＳｅの少なくとも１つを含み、その合計含有量であることを意味する。

[0095] Ａｌ：０．０１０～０．０６５％

アルミニウム（Ａｌ）は、Ｎと結合して（Ａｌ、Ｓｉ）Ｎとして析出し、インヒビターとして機能する。Ａｌを含有させる場合、Ａｌ含有量が０．０１０～０．０６５％の範囲内にある場合に、後述の窒化により形成されるインヒビターとしてのＡｌＮは二次再結晶温度域を拡大し、特に高温域での二次再結晶が安定する。したがって、Ａｌ含有量は０．０１０～０．０６５％である。Ａｌ含有量の好ましい下限は０．０２０％であり、さらに好ましくは０．０２５％である。二次再結晶の安定性の観点から、Ａｌ含有量の好ましい上限は０．０４０％であり、さらに好ましくは０．０３５％である。

[0096] Ｎ：０．０１２％以下

窒素（Ｎ）は、Ａｌと結合してインヒビターとして機能する。Ｎは製造工程の途中で窒化により含有させることが可能であるため下限は規定しない。例えば、Ｎ含有量の下限は０％超であってもよく、０．００１％であってもよい。一方、Ｎを含有させる場合、Ｎ含有量が０．０１２％を超えれば、鋼板中に欠陥の一種であるブリスタが発生しやすくなる。Ｎ含有量の好ましい上限は０．０１０％であり、さらに好ましくは０．００９％である。Ｎは仕

上げ焼鈍工程で純化され、仕上げ焼鈍工程後には０．００５％以下となる。

[0097] 上記した化学組成の残部はＦｅ及び不純物からなる。なお、「不純物」とは、鋼を工業的に製造する際に、原料としての鉱石やスクラップから、または製造環境等から混入する元素を指す。不純物の合計含有量の上限は、例えば、５％であればよい。

[0098] 上記した化学組成は、製造上の課題解決のほか、化合物形成によるインヒビター機能の強化や磁気特性への影響を考慮して、Ｆｅの一部に代えて、公知の任意元素を含有してもよい。Ｆｅの一部に代えて含有される任意元素として、たとえば、次の元素が挙げられる。

[0099] Ｎｂ群元素：０．０５０％以下

Ｎｂ群元素（Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの１種以上）の合計含有量は０．０５０％以下であればよい。Ｎｂ群元素をインヒビターの一部として活用する場合、Ｎｂ群元素の合計含有量が０．０３０％以下であると、適切なタイミングで二次再結晶を開始させるので好ましい。また、発生する二次再結晶粒の方位が非常に好ましいものとなり、最終的に磁気特性にとって好ましい組織に制御できる。特に、Ｎｂ及びＴａはその効果が強く好ましい。Ｎｂ群元素の合計含有量は下限値を設ける必要がなく、下限値が０％でもよい。この下限値は、０．００３％であることが好ましい。

[0100] Ｎｂ群元素の合計含有量は、より好ましくは０．００４～０．０２０％である。さらに好ましくは０．００５～０．０１０％である。

[0101] ここで、Ｎｂ群元素の合計含有量は、Ｎｂ、Ｖ、Ｍｏ、Ｔａ、及びWの少なくとも１つを含み、その合計含有量であることを意味する。

[0102] また、上記のスラブは、任意元素として、質量％で、

Ｃｕ：０．４０％以下、

Ｂｉ：０．０１０％以下、

Ｂ：０．０８０％以下、

Ｐ：０．５０％以下、

Ｔｉ：０．０１５％以下、

Ｓｎ：０．１０％以下、

Ｓｂ：０．１０％以下、

Ｃｒ：０．３０％以下、

Ｎｉ：１．００％以下

の少なくとも１種を含有してもよい。

これら任意元素は、公知の目的に応じて含有させればよいため、任意元素の含有量の下限値を設ける必要はなく、下限値が０％でもよい。

[0103] 上記のスラブの化学組成は、最終製品としての方向性電磁鋼板の化学組成と同様に、上記した分析方法によって測定すればよい。

[0104] （熱間圧延工程）

熱間圧延工程は、所定の温度（例えば１１００～１４００℃）に加熱されたスラブの熱間圧延を行い、熱延鋼板を得る工程である。熱間圧延工程では、例えば、加熱工程で加熱された珪素鋼素材（スラブ）の粗圧延を行った後、仕上げ圧延を行って所定厚さ、例えば、１．８～３．５ｍｍの熱延鋼板とする。仕上げ圧延終了後、熱延鋼板を所定の温度で巻き取る。

[0105] 脱炭焼鈍時もしくは脱炭焼鈍後に窒化工程を含むプロセスの場合には、インヒビターとしてのＭｎＳ強度はそれほど必要でないため、生産性を考慮すれば、スラブ加熱温度は１１００℃～１２８０℃とすればよい。

[0106] （熱延板焼鈍工程）

熱延板焼鈍工程は、熱間圧延工程で得た熱延鋼板を所定の温度条件（例えば７５０～１２００℃で３０秒間～１０分間）で焼鈍して、焼鈍鋼板を得る工程である。熱延板焼鈍は、一般的に、熱間圧延工程後の熱延鋼板を焼鈍することにより、再結晶率や残存歪や結晶粒径などの鋼板組織を制御し、また鋼中の析出物形態を好ましく調整するために実施される。例えば、高温スラブ加熱プロセスにおいては、ＡｌＮなどの析出物の形態を最終的に制御する工程であり、均一かつ微細に析出するように条件調整する。熱延板焼鈍として、例えば、鋼板を１０５０℃～１１５０℃に加熱した後、ＡｌＮなどを適正に析出させるため、５０～１５０秒かけて中間温度（８５０℃～９５０℃

）まで緩冷却した後、水冷却してもよい。

[0107]（冷間圧延工程）

冷間圧延工程は、熱延板焼鈍工程で得た焼鈍鋼板を、１回の冷間圧延、又は焼鈍（中間焼鈍）を介して複数回（２回以上）の冷間圧延（例えば総冷延率で８０～９５％）により、例えば、０．１０～０．５０ｍｍの厚さを有する冷延鋼板を得る工程である。磁気特性を改善するために、例えば、冷間圧延のパス間温度を１００℃～３００℃程度にしてもよい。

[0108]（局所急速加熱工程）

本実施形態では、冷間圧延工程後の冷延鋼板に対して、局所加熱領域を形成するための局所急速加熱を行う。急速加熱方法としては、鋼板を局所的に加熱できるものであればよく、特に限定しない。例えば、鋼板の表裏面にスポット電極を接触させて鋼板内に電流を通電して加熱する方法、レーザー光や電子ビームなどを鋼板表面に照射して加熱する方法、誘導加熱によって局所的に加熱する方法、熱片を接触させて加熱する方法などを採用することができる。個々の局所加熱領域の大きさとしては、直径が１０μｍ～１０ｍｍ程度の点状領域、あるいは幅が１０μｍ～１０ｍｍ程度の線状領域とすることができる。また、通電加熱に用いる電極は、上記のように円形状の電極としてもよく、または線状の電極としてもよい。

[0109] なお、局所加熱領域の大きさについて、最小直径や最小幅は、スポット電極の形状や、レーザー光や電子ビームの集光径を小さくする技術に依存する。局所加熱領域の大きさをさらに小さくすることは、原理的には可能であるが、現状の再結晶粒の核が１μｍ程度の大きさであることを考慮すれば、局所加熱領域の大きさが１μｍ以上であれば効果を得られると考えられる。工業的には、上記の最小直径や最小幅を１０μｍ以上とすればよい。また、局所加熱領域の大きさについて、最大直径や最大幅が１０ｍｍを超えると、局所加熱領域の外へ成長できない角度偏差θや角度偏差φが比較的大きなゴス方位粒の面積割合が多くなる。この場合、局所急速加熱を行う効果が得られにくくなる。

[0110] 局所急速加熱では、局所加熱領域を板厚方向から見た中心部で且つ鋼板の板厚１／５部にて、加熱速度が５００℃／秒以上となればよい。上記の領域で加熱速度が５００℃／秒以上であれば、局所加熱領域の組織を、好ましく回復組織または再結晶組織に制御できる。上記の加熱速度は、２０００℃／秒以上であることが好ましく、１００００℃／秒以上であることがさらに好ましい。一方、上記の加熱速度の上限は、特に限定されず、例えば１０００００００℃／秒とすればよい。

[0111] また、上記の加熱速度は、後述する脱炭焼鈍時の加熱速度と複合的に且つ不可分に制御することが好ましい。例えば、本実施形態では、脱炭焼鈍後の局所加熱影響領域に粗大ゴス方位粒を存在させることを指向するが、局所急速加熱時の加熱速度よりも脱炭焼鈍時の加熱速度の方が速い場合、上記の目的が達成しにくい。そのため、加熱速度の値の大きさに依存はするが、局所急速加熱時の加熱速度は、脱炭焼鈍時の加熱速度以上にすることが好ましい。当業者ならば、脱炭焼鈍後の局所加熱影響領域に粗大ゴス方位粒を存在させるという目的を理解すれば、局所急速加熱時の加熱速度と脱炭焼鈍時の加熱速度とを好ましく制御することができる。

[0112] なお、上記した鋼板の板厚１／５部とは、鋼板の表面から板厚方向に向かって鋼板板厚の１／５に相当する深さを意味する。

[0113] また、局所急速加熱では、局所加熱領域を板厚方向から見た中心部で且つ鋼板の板厚１／５部にて、最高到達温度が７００℃以上となればよい。上記の領域で最高到達温度が７００℃以上であれば、局所加熱領域の組織を、好ましく回復組織または再結晶組織に制御できる。上記の最高到達温度は、８００℃以上であることが好ましく、９００℃以上であることがさらに好ましい。一方、上記の最高到達温度は、鋼板の融点以下であればよく、例えば１４００℃以下であればよい。

[0114] また、局所急速加熱では、局所加熱領域を板厚方向から見た中心部で且つ鋼板の板厚１／５部にて、最高温度に到達後から７００℃に冷却されるまでの保持時間が０．１秒以上であればよい。上記の領域で上記の保持時間が０

．１秒以上であれば、局所加熱領域の組織を、好ましく回復組織または再結晶組織に制御できる。上記の保持時間は、０．２秒以上であることが好ましく、０．３秒以上であることがさらに好ましく、０．４秒以上であることがさらに好ましい。一方、上記の保持時間の上限は、特に限定されず、例えば１０秒以下であればよい。この最高温度に到達後から７００℃に冷却されるまでの保持時間が、理想ゴス方位に近い粗大ゴス方位粒の形成に本質的な影響を与える。

[0115] 局所急速加熱では、上記した加熱速度および最高到達温度に加えて、上記の保持時間を制御することが重要となる。この保持時間中に、局所加熱領域の粗大ゴス方位粒の形成に有利なサブグレイン構造や再結晶核を形成することができる。局所加熱領域のサブグレイン構造を保持時間によって制御することで、後工程で好ましく組織制御が行える。

[0116] 上記したように、局所急速加熱の方法は特に限定されない。例えば、スポット通電加熱や、レーザー照射や、電子ビーム照射によって局所急速加熱すればよい。何れの局所急速加熱方法であっても、上記した加熱速度、最高到達温度、および保持時間を満足するように制御すればよい。当業者であれば、局所急速加熱方法の各条件を組み合わせて、目的とする加熱速度や最高到達温度や保持時間を制御することが可能である。

[0117] 例えば、当業者であれば、有限要素法による熱伝導解析を行って、局所加熱領域を板厚方向から見た中心部で且つ鋼板の板厚１／５部における、加熱速度や最高到達温度を制御することが可能である。加えて、当業者であれば、最高到達温度後の抜熱条件を調整することで、上記の保持時間を制御できる。例えば、スポット通電加熱の場合には、通電後の電極保持時間を制御したり、スポット電極の形状を抜熱に適した形状に変更したりすればよい。また、レーザー照射や電子ビーム照射の場合には、照射スピードを調節したり、照射領域の形状を楕円などに変更して照射領域の中心部から外縁部に向かって照射エネルギーを勾配させたりすればよい。

[0118] なお、一般的に、レーザー照射による加熱は、照射した鋼板表面近傍のみ

が優先的に加熱されて、鋼板内部が加熱されにくい。また、レーザー照射による加熱は、非接触での加熱であるため、加熱後の抜熱が速く、温度を保持しにくい。そのため、局所急速加熱としてレーザー照射加熱を行う際には、レーザー照射領域の冷間加工組織を回復または再結晶させるために、鋼板表面だけではなく鋼板内部まで加熱する条件で、且つ冷却速度を緩慢にしてレーザー照射領域のサブグレイン構造を比較的粗大化させる条件に制御する必要がある。局所急速加熱を行うためのレーザー照射条件は、磁区細分化を行うためのレーザー照射条件と全く異なる。例えば、磁区細分化を行うためのレーザー照射条件（通常０．５～５０ｍＪ／ｍｍ^2）を本実施形態に適用しても、局所加熱領域の組織は好ましく制御されず、脱炭焼鈍工程後の鋼板に理想ゴス方位に近い粗大ゴス方位粒が形成されない。また、電子ビーム照射についてもレーザー照射と同様である。磁区細分化を行うための電子ビーム照射条件を本実施形態に適用しても、局所加熱領域の組織は好ましく制御されず、脱炭焼鈍工程後の鋼板に理想ゴス方位に近い粗大ゴス方位粒は形成されない。

[0119] なお、レーザー照射や電子ビーム照射の投入パワーを単純に大きくしたとしても、理想ゴス方位に近い粗大なゴス方位粒を形成させることは難しい。例えば、レーザー照射や電子ビーム照射によって急速加熱を行なう場合には、急速加熱した後にその領域の結晶粒が粒成長するための温度域を確保できるように、ビーム形状を楕円にしたり、スキャンスピードなどを調整したりすることが好ましい。

[0120] 従来、電磁鋼板において、レーザー照射や電子ビーム照射は、二次再結晶後の鋼板に対して磁区制御を行って鉄損を低減させるために実施されてきた。これらのレーザー照射や電子ビーム照射の条件では、鋼板の表面から２０μｍ程度を加熱しているため、加熱後の抜熱が早い。そのため、従来条件では、上記したような最高温度に到達後から７００℃に冷却されるまでの保持時間を確保することが難しい。すなわち、従来のレーザー照射や電子ビーム照射の条件では、照射部を二次再結晶粒の成長の障壁として作用させること

はできるかもしれないが、本実施形態のように、理想ゴス方位に近い方位を持ち且つ粗大なゴス方位粒を形成することは難しい。レーザー照射や電子ビーム照射によって理想ゴス方位に近い粗大ゴス方位粒を形成するためには、上記のようにレーザー照射や電子ビーム照射の条件を検討する必要がある。

[0121] また、鋼板表面における局所加熱影響領域は、目的に応じて適切に配置すればよい。本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造方法では、二次再結晶粒の形状が圧延直角方向Ｃに延伸して圧延方向Ｌにつぶれた扁平傾向を有するように制御すればよい。例えば、局所加熱影響領域の間隔が圧延方向Ｌに大きくなるほど、二次再結晶粒径が圧延方向Ｌに粗大になりやすい。同様に、局所加熱影響領域の間隔が圧延直角方向Ｃに大きくなるほど、二次再結晶粒径が圧延直角方向Ｃに粗大になりやすい。これらの局所加熱影響領域の圧延方向Ｌおよび圧延直角方向Ｃの配置は相互に影響を与える。例えば、圧延方向Ｌの間隔が大きければ、圧延直角方向Ｃの間隔が小さくても、二次再結晶粒径が圧延直角方向Ｃに粗大になることもある。加えて、鋼の化学組成や、後述する仕上げ焼鈍の加熱過程での温度勾配も二次再結晶粒の粒成長に影響を与える。そのため、これらの条件を複合的に制御して、上記の扁平形状を制御すればよい。当業者であれば、局所加熱影響領域の配置やその他の条件を適切に調整することで、二次再結晶粒を上記の扁平形状を制御できる。

[0122] （脱炭焼鈍工程）

脱炭焼鈍工程では、局所急速加熱工程後の冷延鋼板に対して、脱炭焼鈍（一次焼鈍）を行う。この脱炭焼鈍により、局所加熱影響領域に形成されるゴス方位粒の存在頻度が増大し、ゴス方位粒の粒径が増大し、理想ゴス方位に近い方位を持つ粗大ゴス方位粒が好ましく形成される。脱炭焼鈍条件としては、加熱速度を１０～１００００℃／秒、焼鈍温度を７００～９００℃、焼鈍時間を１０～６００秒とすればよい。また、冷延鋼板に脱炭焼鈍を行うことで、冷延鋼板中に含まれるＣが除去される。脱炭焼鈍は、冷延鋼板中に含まれる「Ｃ」を除去するために、湿潤雰囲気中で行うことが好ましい。

[0123] また、前述の熱間圧延および熱延板焼鈍の条件を制御したり、脱炭焼鈍温

度を必要に応じて低温化したりすることによって、一次再結晶粒径を小さくすることが有効である。一次再結晶粒径は、特に限定されないが、８～３０μｍであることが好ましい。

[0124] また、本実施形態では、理想ゴス方位に近い方位を持つ粗大ゴス方位粒が局所加熱影響領域内に多数形成されている。そのため、脱炭焼鈍で改めてゴス方位粒を形成する必要がない。脱炭焼鈍の加熱速度は上述のように１０００００℃／秒以下であればよいが、脱炭焼鈍の加熱速度を低速にして、マトリックス部（局所加熱非影響領域）に蚕食されやすい｛１１１｝＜１１２＞方位粒や｛４１１｝＜１４８＞方位粒を形成することが好ましい。例えば、脱炭焼鈍の加熱速度は、３００℃／秒以下であることが好ましく、２００℃／秒以下であることがさらに好ましく、１００℃／秒以下であることがさらに好ましい。

[0125] また、脱炭酸化量及び表面酸化層の状態は、グラス被膜の形成に影響を及ぼす。そのため、脱炭焼鈍では、焼鈍雰囲気（炉内雰囲気）における酸化度（PH_2O／PH_2）を０．０１～０．１５としてもよい。なお、酸化度PH_2O／PH_2は、雰囲気中の水蒸気分圧PH_2Oと水素分圧PH_2との比によって定義できる。

[0126] （窒化処理）

窒化処理は、スラブ加熱温度が１２８０℃以下の低温スラブ加熱プロセスで有効な処理であり、二次再結晶におけるインヒビターの強度を調整するために重要な工程である。窒化処理は、脱炭処理の開始から、仕上げ焼鈍における二次再結晶の開始までの間に、鋼板の窒素量を４０～２００ｐｐｍ程度増加させる。窒化処理としては、例えば、アンモニア等の窒化能のあるガスを含有する雰囲気中で焼鈍する処理、ＭｎＮ等の窒化能を有する粉末を含む焼鈍分離剤を塗布した脱炭焼鈍鋼板を仕上げ焼鈍する処理等が例示される。窒化処理後の窒化量は１３０～３５０ｐｐｍとすることが好ましく、さらには１５０～２５０ｐｐｍとすることが好ましい。

[0127] （焼鈍分離剤塗布工程）

焼鈍分離剤塗布工程は、脱炭焼鈍鋼板に焼鈍分離剤を塗布する工程である。焼鈍分離剤としては、例えば、ＭｇＯを主成分とする焼鈍分離剤やAl_2O_3を主成分とする焼鈍分離剤を用いることができる。焼鈍分離剤を塗布後の脱炭焼鈍鋼板は、コイル状に巻取った状態で、次の仕上げ焼鈍工程で仕上げ焼鈍される。

[0128] （仕上げ焼鈍工程）

仕上げ焼鈍工程は、焼鈍分離剤が塗布された脱炭焼鈍鋼板に仕上げ焼鈍（二次焼鈍）を施し、二次再結晶を生じさせる工程である。この工程は、一次再結晶粒の成長をインヒビターにより抑制した状態で二次再結晶を進行させることによって、｛１００｝＜００１＞方位粒を優先成長させ、磁束密度を飛躍的に向上させる。

[0129] 仕上げ焼鈍では、焼鈍分離剤を塗布して乾燥した脱炭焼鈍鋼板を、１０００℃以上１３００℃以下の温度域で、１０時間以上６０時間以下保持すればよい。仕上げ焼鈍時の雰囲気は、例えば窒素雰囲気または窒素と水素との混合雰囲気とすればよい。

[0130] また、本実施形態では、仕上げ焼鈍の加熱過程で、鋼板中の一次再結晶領域と二次再結晶領域との境界部位に０．５℃／ｃｍ超の温度勾配を与えながら、好ましくは１．０℃／ｃｍ以上の温度勾配を与えながら二次再結晶を生じさせればよい。例えば、仕上げ焼鈍の加熱過程の８００℃以上の温度範囲で二次再結晶粒が成長中に上記の温度勾配を鋼板に与えればよい。上記温度勾配を与える方向は圧延直角方向Ｃとすればよい。また、上記の温度勾配は、鋼の化学組成に応じて適宜変更すればよい。例えば、二次再結晶粒が優先成長しやすい化学組成であれば、温度勾配が０．５℃／ｃｍ超であればよく（１．０℃／ｃｍ以上であることが好ましく）、一方、二次再結晶粒が優先成長しにくい化学組成であれば、温度勾配が１．０℃／ｃｍ超であることが好ましい。

[0131] 温度勾配を付与する方法は、特に限定されず、公知の方法を適用すればよい。例えば、箱型の焼鈍炉を用い、コイル状の鋼板を炉内に設置して加熱す

る際に、コイルの上部から下部に向かって、または外部から内部に向かって十分な温度差が生じるように、加熱装置の位置や配置、焼鈍炉内の温度分布を制御すればよい。または、誘導加熱、高周波加熱、通電加熱装置などを配置してコイルの一部のみを積極的に加熱することで、焼鈍されるコイル内に温度分布を形成してもよい。

[0132] 仕上げ焼鈍の加熱過程で鋼板に温度勾配を付与すれば、早期に二次再結晶開始状態に到達したコイル内の部位から尖鋭な方位を持つ二次再結晶粒が生成し、この二次再結晶粒が温度勾配に起因して優先成長する。例えば、二次再結晶粒をコイルの全体にわたり成長させることもできる。

[0133] （絶縁被膜形成工程）

仕上げ焼鈍後の鋼板に、りん酸あるいはりん酸塩、無水クロム酸あるいはクロム酸塩およびコロイド状シリカを含むコーティング溶液を塗布して焼き付けて（例えば、３５０℃～１１５０℃で５～３００秒間）、絶縁被膜を形成する。

[0134] 以上の工程によって、本実施形態に係る方向性電磁鋼板を製造できる。各工程の各条件を複合的に且つ不可分に制御して製造された本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、二次再結晶粒の結晶方位と理想ゴス方位とのずれが極めて小さく、圧延方向Ｌに沿う各測定点で角度偏差φが平均的に小さく、圧延方向Ｌに対して結晶粒が粗大に成長しておらず、結晶粒の形状が圧延直角方向Ｃに延伸して圧延方向Ｌにつぶれた扁平傾向を有する。そのため、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与しているにもかかわらず、磁束密度および磁歪の両方に優れる。

実施例 1

[0135] 次に、実施例により本発明の効果を具体的に詳細に説明する。実施例での条件は、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。

[0136] 化学組成が調整されたスラブを素材として、表２に示す化学組成を有する脱炭焼鈍鋼板を製造した。なお、これらの化学組成は、上記の方法に基づいて測定した。表２で、「－」は含有量を意識した制御および製造をしておらず、含有量の測定を実施していないことを示す。

[0137] 上記の脱炭焼鈍鋼板を製造する際、スラブを１１５０℃に加熱して熱間圧延に供し、板厚２．６ｍｍの熱延鋼板とした。この熱延鋼板を１１００℃に加熱し、引き続き９００℃で焼鈍する熱延板焼鈍を施した後、酸洗を行って表面に生成したスケールを除去した。これらの鋼板に、一回の冷間圧延又は中間焼鈍を挟む複数回の冷間圧延を施して、最終板厚０．２２ｍｍの冷延鋼板とした。

[0138] 上記の冷延鋼板に、表３～表７に示す条件の局所急速加熱を行った。なお、スポット通電加熱では、鋼板との接触部が直径１ｍｍの銅電極を用い、その上で、鋼板との接触部以外の電極形状、電極加圧力、通電電流、通電時間、通電後の電極保持時間などを複合的に変化させて、加熱速度、最高到達温度、最高温度に到達後から７００℃に冷却されるまでの保持時間（７００℃以上の保持時間）をそれぞれ制御した。レーザー加熱では、ファイバレーザーを用い、レーザー光の圧延方向の集光スポット径（すなわちレーザー出力の８６％を含む直径）を３０μｍ（試験Ｎｏ．７１およびＮｏ．７２を除く）とし、その上で、レーザー照射エネルギー密度、レーザー走査速度、レーザー照射領域の形状などを複合的に変化させて、加熱速度、最高到達温度、７００℃以上の保持時間をそれぞれ制御した。当業者であれば、局所急速加熱方法の各条件を組み合わせて、目的とする加熱速度や最高到達温度や７００℃以上の保持時間を制御することが可能である。

[0139] なお、試験Ｎｏ．６９では、レーザビームをスキャン方向に細長くすることにより、局所急速加熱の際、最高温度に到達後から７００℃に冷却されるまでの保持時間を０．２秒に制御して、局所加熱領域内に理想ゴス方位に近い方位を持つ粗大ゴス方位粒が形成されるようにした。試験Ｎｏ．７０では、磁区細分化を行うための一般的なレーザー照射条件を適用した。試験Ｎｏ

．７１では、集光スポット径を０．５ｍｍ、レーザー照射エネルギー密度を２．０Ｊ／ｍｍ^{2}とし、レーザビーム照射部が最終的に二次再結晶粒の結晶粒界になるように制御した。試験Ｎｏ．７２では、集光スポット径を０．５ｍｍ、レーザー照射エネルギー密度を３０．０Ｊ／ｍｍ^{2}とし、レーザビーム照射部が最終的に二次再結晶粒の結晶粒界になるように制御した。

[0140] 表中で、局所急速加熱の加熱方法が「無処理」は、局所急速加熱を行っていないことを示す。局所加熱条件の「線状ｏｒ点状」は、冷延鋼板の板面上での局所加熱領域の形状を表し、局所加熱条件の「圧延方向間隔」および「幅方向間隔」は、冷延鋼板の板面上で局所加熱領域が配される圧延方向および圧延直角方向の間隔を表す。局所加熱領域は、圧延方向および圧延直角方向に等間隔で均等に配置されている。なお、冷延鋼板の板面上に局所加熱領域を設ける際には、局所加熱領域の分布が不均一にならないように配置した。

[0141] また、表中で、局所急速加熱の局所加熱条件の幅方向間隔が「端部１０」は、圧延直角方向について、鋼板の端部から１０ｍｍの位置にのみ局所加熱領域を形成したことを示す。

[0142] 局所急速加熱後の冷延鋼板に、表３～表７に示す条件の脱炭焼鈍を行った。なお、脱炭焼鈍では、焼鈍雰囲気（炉内雰囲気）における酸化度（PH_2O／PH_2）を０．１３とした。

[0143] 製造した脱炭焼鈍鋼板に対して、窒素－水素－アンモニア雰囲気中で７５０℃で窒化処理し、鋼板窒素量を２２０ｐｐｍとした。さらに、ＭｇＯを主成分とした焼鈍分離剤を塗布し、仕上げ焼鈍を施した。

[0144] 仕上げ焼鈍の加熱過程では、鋼板を、水素と窒素との混合雰囲気中で、１０００℃まで１５℃／ｈｒ（℃／時間）で 昇温し、その後、表３～表７に示す加熱速度で１２００℃まで昇温した。また、仕上げ焼鈍の加熱過程では、８００℃以上の温度範囲で、鋼板中の一次再結晶領域と二次再結晶領域との境界部位に表３～表７に示す温度勾配を圧延直角方向Ｃに与えた。なお、表３～表７中で、仕上げ焼鈍の加熱過程の温度勾配が「＜１．０」は、実質的

に加熱過程の温度勾配を制御していないことを示す。仕上げ焼鈍の加熱過程後、水素雰囲気中で１２００℃－２０ｈｒ（時間）保持した。

[0145] 仕上げ焼鈍後の鋼板に、コロイダルシリカとリン酸塩とを主体とし、必要に応じて無水クロム酸を添加した絶縁被膜のコーティング液を塗布して焼付けて絶縁被膜を形成した。

[0146] 製造した方向性電磁鋼板について、母材鋼板の化学組成、角度偏差φの平均値ａｖｅϕ_L、粒径D_Lの個数基準１０％粒径D_L１０、および粒径D_Cの平均値ａｖｅD_Cを、上記した方法に基づいて測定した。結果を表７～表１３に示す。表１３で、「－」は含有量を意識した制御および製造をしておらず、含有量の測定を実施していないことを示す。また、製造した方向性電磁鋼板について、各種特性を評価した。評価結果を表７～表１２に示す。

[0147] 方向性電磁鋼板の磁気特性は、ＪＩＳ Ｃ ２５５６：２０１５に規定された単板磁気特性試験法（ＳＳＴ：Ｓｉｎｇｌｅ Ｓｈｅｅｔ Ｔｅｓｔｅｒ）に基づいて測定した。

[0148] 得られた方向性電磁鋼板から、１００ｍｍ×５００ｍｍサイズの単板磁気測定用サンプルを２０枚用意し、単板磁気測定を実施した。磁気特性として、８００Ａ／ｍで励磁したときの鋼板の圧延方向の磁束密度B_8（Ｔ）を測定した。磁束密度B_8が１．９４５Ｔ以上である場合を合格と判断した。また、参考として、交流周波数：５０Ｈｚ、励磁磁束密度：１．７Ｔの条件で、鋼板の単位重量（１ｋｇ）あたりの電力損失として定義される鉄損$W_{17/50}$（Ｗ／ｋｇ）を測定した。

[0149] さらに、磁気特性として、交流周波数：５０Ｈｚ、励磁磁束密度：１．７Ｔの条件下で鋼板に生じる磁歪λｐ－ｐ@１．７Ｔ（１．７Ｔでの磁歪の最小値と最大値との差）を測定した。具体的には、上記の励磁条件下での試験片（鋼板）の最大長さL_{max}および最小長さL_{min}、並び磁束密度０Ｔでの試験片の長さL_0を用いて、λｐ－ｐ@１．７Ｔ＝（L_{max}－L_{min}）÷L_0により算出した。

[0150] 上記した磁気特性値に基づいて、１．７Ｔでの磁歪速度レベルを求めた。

磁歪速度レベルＬｖａ（単位：ｄＢ）は、２周期以上の磁歪波形、６．４ｋＨｚのサンプリング周波数で取得した波形をフーリエ変換して、得られたそれぞれの周波数ごとの磁歪量λ（ｆｉ）（０Ｈｚ～３．２ｋＨｚ）を用いて、以下の式１で導出した。磁歪速度レベルＬｖａは、２００Ｈｚ成分について検討した。

[0151] $$Lva = 20 \times \log_{10}[\{\rho c \times \{\Sigma(2^{1/2}\pi \times fi \times \lambda(fi) \times \alpha(fi))^2\}^{1/2}\} / P_0] \quad \cdots (式1)$$

[0152] ここで、

ρ：空気の密度（ｋｇ／ｍ^3）

ｃ：音速（ｍ／秒）

P_0：１ｋＨｚの音を人間が聞き取ることのできる最小の圧力（Ｐａ）、

ｆｉ：周波数（Ｈｚ）

λ（ｆｉ）：フーリエ変換した周波数ごとの磁歪量

α（ｆｉ）：周波数ｆｉのＡ特性

π：円周率

[0153] なお、Ｌｖａ@１．７Ｔを求めるにあたり、次の値を代入した。

ρ＝１．１８５（ｋｇ／ｍ^3）

ｃ＝３４６．３（ｍ／秒）

$P_0 = 2 \times 10^{-5}$（Ｐａ）

[0154] 磁束密度B_8が１．９４５Ｔ以上であり、且つ磁歪速度レベルＬｖａ@１．７Ｔが４１ｄＢ以下であるとき、磁束密度および磁歪特性の両方が良好であると判断した。

[0155] Ｎｏ．１～９８のうち、本発明例である方向性電磁鋼板は、ａｖｅϕ_L、D_L１０、およびａｖｅD_Cが好ましく制御されていた。これらの本発明例はいずれも、磁束密度および磁歪特性にも優れた。また、鉄損にも優れた。

[0156] 一方、Ｎｏ．１～９８のうち、比較例である方向性電磁鋼板は、ａｖｅϕ_L、D_L１０、またはａｖｅD_Cが好ましく制御されていなかった。これらの比較例は、方向性電磁鋼板として、好ましい磁束密度または磁歪特性が得られ

なかった。

[0157] [表2]

鋼種	製造結果																				
	脱炭焼鈍鋼板の化学組成(単位:質量%、残部:Feおよび不純物)																				
	C	Si	Mn	S	Se	Al	N	Nb	V	Mo	Ta	W	Cu	Bi	B	P	Ti	Sn	Sb	Cr	Ni
A	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	0.001	3.35	0.12	0.006	—	0.032	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D	0.001	3.35	0.08	0.006	—	0.025	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K	0.001	3.35	0.10	0.006	0.001	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	—	0.007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	—	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	—	—	—	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O	0.001	3.35	0.10	0.006	—	0.026	0.008	—	—	—	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	0.003	—	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—
R	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.07	0.002	—	—	—	—	—	—	—
S	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.02	—	0.002	—	—	—	—	—	—
T	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	0.015	—	—	—	—	—
U	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	0.006	—	—	—	—
V	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	0.060	—	—	—
W	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	0.023	—	—
X	0.001	3.25	0.10	0.007	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	—	0.120	—
Y	0.001	3.50	0.10	0.006	—	0.026	0.008	0.005	—	—	—	—	0.20	—	—	0.021	0.002	0.060	—	0.100	0.030
Z	0.001	3.45	0.10	0.006	—	0.026	0.008	—	—	—	—	—	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—

[0158]

[0159]

[表3]

No.	鋼種	製造条件												
		冷間圧延	局所急速加熱							脱炭焼鈍			仕上焼鈍	
		総冷延率	加熱方法	加熱速度	最高到達温度	700℃以上の保持時間	局所加熱条件			加熱速度	焼鈍温度	焼鈍時間	加熱過程	
							線状 or 点状	圧延方向間隔	幅方向間隔				加熱速度	温度勾配
		%		℃/sec	℃	sec		mm	mm	℃/sec	℃	sec	℃/hr	℃/cm
1	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	160	30	100	850	90	10	＜1.0
2	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	120	30	100	850	90	10	＜1.0
3	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	30	100	850	90	10	＜1.0
4	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	80	30	100	850	90	10	＜1.0
5	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	60	30	100	850	90	10	＜1.0
6	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	50	30	100	850	90	10	＜1.0
7	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	30	30	100	850	90	10	＜1.0
8	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	15	30	100	850	90	10	＜1.0
9	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	160	端部10	100	850	90	10	5
10	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	120	端部10	100	850	90	10	5
11	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	5
12	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	80	端部10	100	850	90	10	5
13	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	60	端部10	100	850	90	10	5
14	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	30	端部10	100	850	90	10	5
15	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	15	端部10	100	850	90	10	5
16	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	1.0
17	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	3
18	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	5
19	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	7
20	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	10

[表4]

No.	鋼種	製造条件												
		冷間圧延	局所急速加熱							脱炭焼鈍			仕上焼鈍	
		総冷延率	加熱方法	加熱速度	最高到達温度	700℃以上の保持時間	局所加熱条件			加熱速度	焼鈍温度	焼鈍時間	加熱過程	
							線状 or 点状	圧延方向間隔	幅方向間隔				加熱速度	温度勾配
		%		℃/sec	℃	sec		mm	mm	℃/sec	℃	sec	℃/hr	℃/cm
21	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	850	90	10	＜1.0
22	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	850	90	10	1.0
23	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	850	90	10	3
24	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	850	90	10	5
25	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	30	30	100	850	90	10	＜1.0
26	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	30	30	100	850	90	10	5
27	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	30	100	850	90	10	＜1.0
28	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	30	100	850	90	10	5
29	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	30	100	850	90	10	5
30	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	50	100	850	90	10	5
31	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	850	90	10	5
32	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	5
33	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	10	＜1.0
34	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	10	1.0
35	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	10	3
36	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	10	5
37	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	10	7
38	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	10	10
39	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	5	＜1.0
40	A	91.5	無処理	—	—	—	—	—	—	100	850	90	1	＜1.0

[0160]

[表5]

No.	鋼種	製造条件												
		冷間圧延	局所急速加熱							脱炭焼鈍			仕上焼鈍	
		総冷延率	加熱方法	加熱速度	最高到達温度	700℃以上の保持時間	局所加熱条件			加熱速度	焼鈍温度	焼鈍時間	加熱過程	
							線状 or 点状	圧延方向間隔	幅方向間隔				加熱速度	温度勾配
		%		℃/sec	℃	sec		mm	mm	℃/sec	℃	sec	℃/hr	℃/cm
41	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	1.0
42	B	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	端部10	100	850	90	10	1.0
43	A	91.5	Spot通電	500	900	0.3	点状	100	100	10000	830	90	10	5
44	A	91.5	Spot通電	500	900	0.3	点状	100	100	2000	830	90	10	5
45	A	91.5	Spot通電	500	900	0.3	点状	100	100	500	830	90	10	5
46	A	91.5	Spot通電	500	900	0.3	点状	100	100	300	830	90	10	5
47	A	91.5	Spot通電	500	900	0.3	点状	100	100	100	830	90	10	5
48	A	91.5	Spot通電	2000	900	0.3	点状	100	100	10000	830	90	10	5
49	A	91.5	Spot通電	2000	900	0.3	点状	100	100	2000	830	90	10	5
50	A	91.5	Spot通電	2000	900	0.3	点状	100	100	500	830	90	10	5
51	A	91.5	Spot通電	2000	900	0.3	点状	100	100	300	830	90	10	5
52	A	91.5	Spot通電	2000	900	0.3	点状	100	100	100	830	90	10	5
53	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	10000	830	90	10	5
54	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	2000	830	90	10	5
55	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	500	830	90	10	5
56	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	300	830	90	10	5
57	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	830	90	10	5
58	A	91.5	Spot通電	10000	900	0.3	点状	100	100	10000	830	90	10	5
59	A	91.5	Spot通電	10000	900	0.3	点状	100	100	2000	830	90	10	5
60	A	91.5	Spot通電	10000	900	0.3	点状	100	100	500	830	90	10	5

[0161]

[0162]

[表6]

No.	鋼種	製造条件												
		冷間圧延	局所急速加熱							脱炭焼鈍			仕上焼鈍	
		総冷延率	加熱方法	加熱速度	最高到達温度	700℃以上の保持時間	局所加熱条件 線状 or 点状	圧延方向間隔	幅方向間隔	加熱速度	焼鈍温度	焼鈍時間	加熱過程 加熱速度	加熱過程 温度勾配
		%		℃/sec	℃	sec		mm	mm	℃/sec	℃	sec	℃/hr	℃/cm
61	A	91.5	Spot通電	10000	900	0.3	点状	100	100	300	830	90	10	5
62	A	91.5	Spot通電	10000	900	0.3	点状	100	100	100	830	90	10	5
63	A	91.5	Spot通電	5000	900	0.3	点状	100	100	100	850	90	10	＜1.0
64	A	91.5	Spot通電	10000	900	0.3	点状	100	100	100	830	90	10	5
65	A	90.4	Spot通電	500	800	0.3	点状	50	100	300	850	90	10	4
66	A	90.4	Spot通電	500	800	0.2	点状	50	100	300	850	90	10	4
67	A	90.4	Spot通電	500	800	0.1	点状	50	100	300	850	90	10	4
68	A	90.4	Spot通電	500	800	0.03	点状	50	100	300	850	90	10	4
69	A	91.5	レーザ	2000	800	0.2	短線状	20	端部10	300	830	90	10	4
70	A	91.5	レーザ	＜2000	＜200	＜0.03	短線状	20	端部10	300	830	90	10	4
71	A	91.5	レーザ	5000	800	＜0.03	短線状	20	端部10	300	830	90	10	4
72	A	91.5	レーザ	7000	800	＜0.03	短線状	20	端部10	300	830	90	10	4
73	A	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
74	B	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
75	C	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
76	D	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
77	E	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
78	F	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
79	G	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
80	H	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3

[表7]

No.	鋼種	製造条件												
		冷間圧延	局所急速加熱							脱炭焼鈍			仕上焼鈍	
		総冷延率	加熱方法	加熱速度	最高到達温度	700℃以上の保持時間	局所加熱条件			加熱速度	焼鈍温度	焼鈍時間	加熱過程	
							線状 or 点状	圧延方向間隔	幅方向間隔				加熱速度	温度勾配
		%		℃/sec	℃	sec		mm	mm	℃/sec	℃	sec	℃/hr	℃/cm
81	I	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
82	J	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
83	K	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
84	L	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
85	M	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
86	N	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
87	O	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
88	P	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
89	Q	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
90	R	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
91	S	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
92	T	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
93	U	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
94	V	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
95	W	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
96	X	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
97	Y	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3
98	Z	90.4	Spot通電	10000	900	0.3	点状	20	端部10	100	850	90	10	3

[0163]

[表8]

No.	鋼種	製造結果				評価結果			評価
		aveϕ_L unit: °	(100 − 15×aveϕ_L)の値	D_L10 mm	aveD_C mm	磁束密度 B_8 T	鉄損 W17/50 W/kg	磁歪 Lva200Hz @1.7T dB	
1	A	3.9	41	47	22	1.932	0.821	46.1	比較例
2	A	3.8	43	51	22	1.935	0.808	45.9	比較例
3	A	3.7	45	53	21	1.939	0.791	45.7	比較例
4	A	3.6	46	46	21	1.941	0.785	42.2	比較例
5	A	3.5	47	38	21	1.943	0.777	42.0	比較例
6	A	3.5	48	35	21	1.944	0.772	41.9	比較例
7	A	3.4	50	27	21	1.947	0.741	41.7	比較例
8	A	3.3	51	22	21	1.949	0.717	41.6	比較例
9	A	2.5	63	79	410	1.967	0.818	43.5	比較例
10	A	2.3	65	64	369	1.970	0.782	40.4	本発明例
11	A	2.2	67	55	341	1.974	0.757	39.3	本発明例
12	A	2.1	68	47	311	1.976	0.736	37.3	本発明例
13	A	2.1	69	38	281	1.979	0.717	35.5	本発明例
14	A	2.0	69	25	223	1.981	0.689	33.0	本発明例
15	A	2.0	70	19	189	1.983	0.674	31.8	本発明例
16	A	3.5	48	52	150	1.944	0.814	42.2	比較例
17	A	2.6	61	54	251	1.966	0.775	40.0	本発明例
18	A	2.2	67	55	341	1.974	0.757	39.3	本発明例
19	A	1.8	73	59	527	1.984	0.744	39.1	本発明例
20	A	2.0	70	60	887	1.980	0.761	40.2	本発明例

[0164]

[表9]

No.	鋼種	製造結果				評価結果			評価
		aveϕ_L unit: °	(100 − 15×aveϕ_L) の値	D_L10 mm	aveD_C mm	磁束密度 B_8 T	鉄損 W17/50 W/kg	磁歪 Lva200Hz @1.7T dB	
21	A	3.8	43	47	24	1.936	0.800	42.9	比較例
22	A	3.6	46	49	55	1.941	0.809	42.5	比較例
23	A	2.9	56	52	91	1.959	0.777	39.9	本発明例
24	A	2.7	59	53	125	1.964	0.764	39.4	本発明例
25	A	3.4	50	27	21	1.947	0.741	41.7	比較例
26	A	3.3	50	30	26	1.948	0.740	41.7	比較例
27	A	3.7	45	53	21	1.939	0.791	45.7	比較例
28	A	2.9	56	56	73	1.959	0.776	40.8	本発明例
29	A	2.9	56	56	73	1.959	0.776	40.8	本発明例
30	A	2.9	57	54	90	1.960	0.771	40.8	本発明例
31	A	2.7	59	53	125	1.964	0.764	39.4	本発明例
32	A	2.3	65	55	341	1.974	0.752	39.3	本発明例
33	A	4.6	31	37	22	1.915	0.831	45.3	比較例
34	A	4.4	34	43	126	1.920	0.826	44.9	比較例
35	A	3.4	49	54	230	1.946	0.819	43.2	比較例
36	A	3.0	55	66	323	1.957	0.797	42.4	比較例
37	A	2.6	61	83	450	1.967	0.807	41.8	比較例
38	A	2.8	59	107	655	1.963	0.835	42.0	比較例
39	A	4.0	40	51	30	1.930	0.816	44.3	比較例
40	A	3.6	46	60	35	1.941	0.814	43.5	比較例

[0165]

[表10]

No.	鋼種	製造結果				評価結果			評価
		aveϕ_L unit: °	(100 − 15×aveϕ_L)の値	D_L10 mm	aveD_C mm	磁束密度 B_8 T	鉄損 W17/50 W/kg	磁歪 Lva200Hz @1.7T dB	
41	A	3.5	48	52	150	1.944	0.814	43.3	比較例
42	B	2.8	58	55	171	1.962	0.767	39.0	本発明例
43	A	3.8	43	27	50	1.936	0.828	38.9	比較例
44	A	3.6	46	36	89	1.941	0.818	39.5	比較例
45	A	3.6	48	40	103	1.944	0.812	39.7	比較例
46	A	3.1	54	42	108	1.955	0.790	38.1	本発明例
47	A	3.0	56	45	118	1.958	0.784	38.0	本発明例
48	A	3.7	45	32	57	1.939	0.822	39.1	比較例
49	A	3.0	55	40	92	1.956	0.788	37.5	本発明例
50	A	3.0	56	44	106	1.958	0.784	37.8	本発明例
51	A	2.9	57	45	110	1.960	0.780	37.7	本発明例
52	A	2.8	58	48	120	1.962	0.776	37.9	本発明例
53	A	3.0	55	40	71	1.956	0.788	37.5	本発明例
54	A	3.0	56	47	101	1.958	0.784	38.3	本発明例
55	A	2.9	57	50	113	1.960	0.780	38.5	本発明例
56	A	2.8	59	51	117	1.963	0.774	38.2	本発明例
57	A	2.7	60	54	126	1.965	0.770	38.3	本発明例
58	A	3.0	56	53	93	1.958	0.784	39.4	本発明例
59	A	2.8	59	58	118	1.963	0.774	39.4	本発明例
60	A	2.7	60	59	125	1.965	0.770	39.1	本発明例

[0166]

[表11]

No.	鋼種	製造結果				評価結果			評価
		aveϕ_L unit: °	(100 − 15×aveϕ_L)の値	D_L10 mm	aveD_C mm	磁束密度 B_8 T	鉄損 W17/50 W/kg	磁歪 Lva200Hz @1.7T dB	
61	A	2.6	61	59	128	1.968	0.764	38.6	本発明例
62	A	2.5	63	59	134	1.970	0.760	38.3	本発明例
63	A	3.8	43	47	24	1.936	0.800	42.9	比較例
64	A	2.5	63	59	134	1.970	0.760	38.3	本発明例
65	A	3.1	53	32	102	1.954	0.772	36.4	本発明例
66	A	3.2	52	44	129	1.952	0.780	36.7	本発明例
67	A	3.3	51	48	183	1.950	0.790	36.9	本発明例
68	A	3.6	46	56	267	1.943	0.814	42.0	比較例
69	A	2.1	68	21	223	1.980	0.680	32.3	本発明例
70	A	3.2	52	63	297	1.951	0.796	44.8	比較例
71	A	3.3	51	58	275	1.950	0.783	43.5	比較例
72	A	3.4	49	55	258	1.948	0.768	42.8	比較例
73	A	2.1	68	28	178	1.976	0.680	33.4	本発明例
74	B	1.3	81	33	211	1.998	0.636	30.3	本発明例
75	C	2.0	69	29	186	1.978	0.676	33.2	本発明例
76	D	2.1	69	27	181	1.977	0.678	33.1	本発明例
77	E	2.2	67	28	180	1.974	0.684	33.7	本発明例
78	F	1.7	74	30	196	1.987	0.658	31.8	本発明例
79	G	1.4	80	31	207	1.996	0.640	30.5	本発明例
80	H	1.6	77	31	205	1.991	0.650	31.2	本発明例

[0167]

[表12]

No.	鋼種	製造結果				評価結果			評価
		aveϕ_L unit: °	(100 − 15×aveϕ_L)の値	D_L10 mm	aveD_C mm	磁束密度 B_8 T	鉄損 W17/50 W/kg	磁歪 Lva200Hz @1.7T dB	
81	I	1.7	74	29	189	1.986	0.660	31.8	本発明例
82	J	2.0	69	28	184	1.978	0.676	33.1	本発明例
83	K	1.3	80	33	204	1.997	0.638	30.6	本発明例
84	L	1.7	74	29	189	1.986	0.660	31.8	本発明例
85	M	1.6	77	31	202	1.991	0.650	31.4	本発明例
86	N	1.3	80	32	206	1.997	0.638	30.4	本発明例
87	O	1.9	71	29	188	1.981	0.670	32.7	本発明例
88	P	2.0	70	28	182	1.979	0.674	32.9	本発明例
89	Q	2.1	68	27	175	1.976	0.680	33.3	本発明例
90	R	2.2	67	27	171	1.974	0.684	33.6	本発明例
91	S	1.7	75	30	200	1.988	0.656	31.7	本発明例
92	T	2.0	69	29	184	1.978	0.676	33.1	本発明例
93	U	2.2	68	28	179	1.975	0.682	33.5	本発明例
94	V	2.1	68	28	181	1.976	0.680	33.3	本発明例
95	W	2.1	69	28	176	1.977	0.678	33.3	本発明例
96	X	2.0	69	29	182	1.978	0.676	33.2	本発明例
97	Y	1.6	77	32	196	1.991	0.650	31.4	本発明例
98	Z	2.3	65	26	173	1.971	0.690	34.0	本発明例

[0168]

[表13]

鋼種	評価結果																				
	方向性電磁鋼板の母材鋼板の化学組成(単位:質量%、残部:Feおよび不純物)																				
	C	Si	Mn	S	Se	Al	N	Nb	V	Mo	Ta	W	Cu	Bi	B	P	Ti	Sn	Sb	Cr	Ni
A	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	0.001	3.30	0.12	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D	0.001	3.30	0.08	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K	0.001	3.30	0.10	<0.002	0.001	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	0.007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	—	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O	0.001	3.30	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	—	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	0.003	—	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—
R	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.07	0.002	—	—	—	—	—	—	—
S	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.02	—	0.002	—	—	—	—	—	—
T	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	0.015	—	—	—	—	—
U	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	0.006	—	—	—	—
V	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	0.060	—	—	—
W	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	0.023	—	—
X	0.001	3.20	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	—	0.120	—
Y	0.001	3.45	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	0.005	—	—	—	—	0.20	—	—	0.021	0.002	0.060	—	0.100	0.030
Z	0.001	3.40	0.10	<0.002	—	<0.004	<0.002	—	—	—	—	—	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—

産業上の利用可能性

[0169] 本発明の上記態様によれば、二次再結晶の際に鋼板へ温度勾配を付与する

技術を適用したとしても、磁束密度および磁歪特性の両方に優れる方向性電磁鋼板の提供が可能となるので、産業上の利用可能性が高い。

符号の説明

[0170] １　脱炭焼鈍鋼板

２　局所加熱影響領域

３　局所加熱非影響領域（マトリックス部）

４　局所加熱領域境界

５　局所加熱影響領域境界

１４　ゴス方位粒

１５　粗大ゴス方位粒

２１　圧延方向

２２　幅方向（圧延直角方向）

請求の範囲

[請求項1] 方向性電磁鋼板であって、

圧延面法線方向Ｚを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をαと定義し、

圧延直角方向Ｃを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をβと定義し、

圧延方向Ｌを回転軸とする理想ゴス方位からのずれ角をγと定義し、

板面上の１つの測定点で測定する結晶方位のずれ角を（α　β　γ）と表し、

前記１つの測定点における角度偏差を$\phi=(\alpha^2+\beta^2)^{1/2}$と定義し、

圧延方向Ｌに沿って間隔が１ｍｍの複数の測定点で求めた角度偏差φの平均値を$\mathrm{ave}\,\phi_L$と定義したとき、

前記$\mathrm{ave}\,\phi_L$が、$\mathrm{ave}\,\phi_L \leqq 3.5°$を満たし、

前記板面上で隣接し且つ間隔が１ｍｍである２つの測定点で測定する結晶方位のずれ角を（α_1　β_1　γ_1）および（α_2　β_2　γ_2）と表し、

$[(\alpha_2-\alpha_1)^2+(\beta_2-\beta_1)^2+(\gamma_2-\gamma_1)^2]^{1/2} \geqq 1.0°$を満足する２つの測定点の中間点を粒界ＧＢと定義し、

前記粒界ＧＢに基づいて求める圧延方向Ｌの粒径を単位ｍｍでD_Lと定義し、

圧延方向Ｌに沿って求めた粒径D_Lを大きい順に並べて大きい方から個数基準で１０％となる粒径を単位ｍｍでD_L10と定義したとき、

前記D_L10が、$D_L10 \leqq 100-15\times\mathrm{ave}\,\phi_L$を満たし、

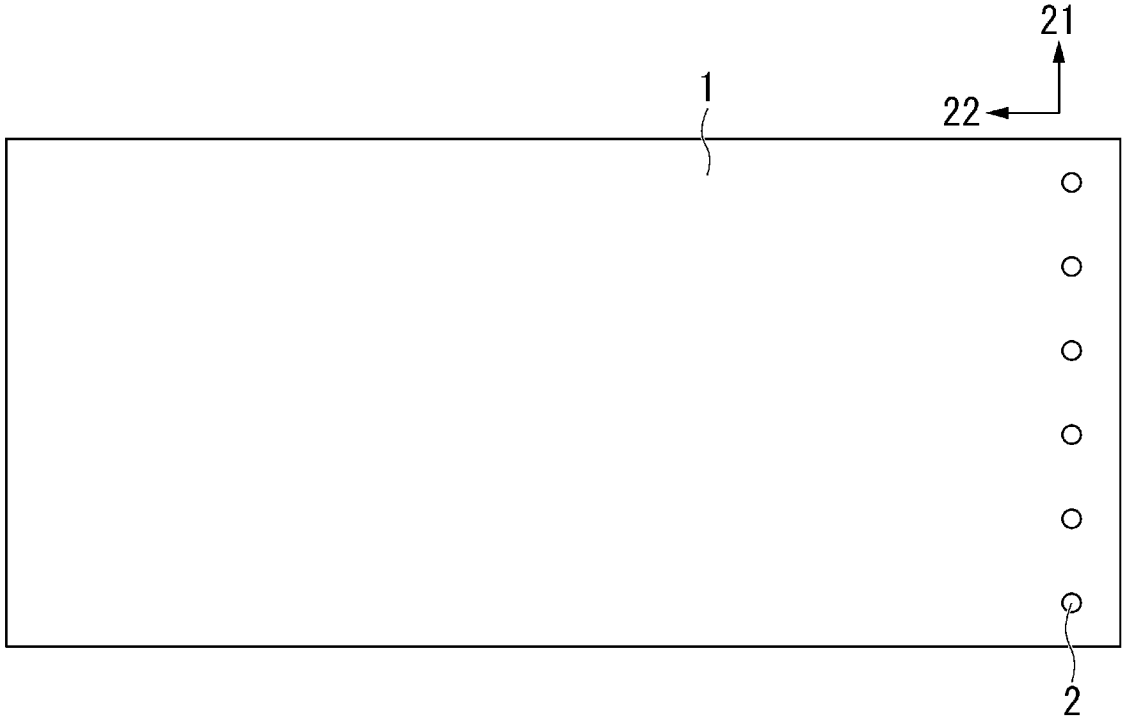
前記粒界ＧＢに基づいて求める圧延直角方向Ｃの粒径を単位ｍｍでD_Cと定義し、

圧延直角方向Ｃに沿って求めた粒径D_Cの平均値をａｖｅD_Cと定義したとき、

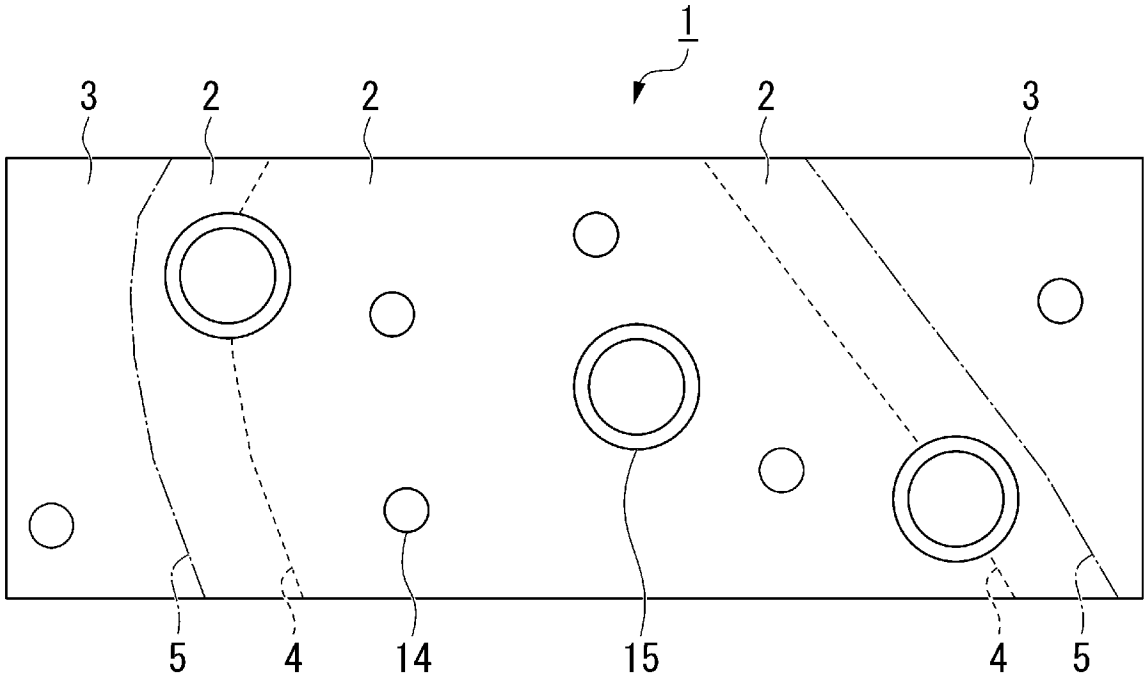
前記ａｖｅD_Cが、ａｖｅD_C≧５０を満たす

ことを特徴とする方向性電磁鋼板。

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/023282

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 38/00(2006.01)i; ***C21D 8/12***(2006.01)i; ***C22C 38/60***(2006.01)i; ***H01F 1/147***(2006.01)i
FI: C22C38/00 303U; C22C38/60; C21D8/12 B; H01F1/147 175

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; C21D8/12; C22C38/60; H01F1/147

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 2021-183722 A (JFE STEEL CORPORATION) 02 December 2021 (2021-12-02)	1
A	JP 2021-181604 A (JFE STEEL CORPORATION) 25 November 2021 (2021-11-25)	1

☐ 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	Date of mailing of the international search report
21 August 2024	**03 September 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/JP2024/023282

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2021-183722 A	02 December 2021	(Family: none)	
JP 2021-181604 A	25 November 2021	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/023282

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; C21D 8/12(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i; H01F 1/147(2006.01)i
FI: C22C38/00 303U; C22C38/60; C21D8/12 B; H01F1/147 175

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; C21D8/12; C22C38/60; H01F1/147

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 2021-183722 A (ＪＦＥスチール株式会社) 02.12.2021 (2021-12-02)	1
A	JP 2021-181604 A (ＪＦＥスチール株式会社) 25.11.2021 (2021-11-25)	1

☐ 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
"L"　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	国際調査報告の発送日
21.08.2024	03.09.2024

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）

河野　一夫 4K 9833

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/JP2024/023282

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2021-183722 A	02.12.2021	(ファミリーなし)	
JP 2021-181604 A	25.11.2021	(ファミリーなし)	