

(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9日(09.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/009598 A1

(51) 国際特許分類:

C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) *C23C 22/00* (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) *H01F 1/147* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/024295

(22) 国際出願日: 2024年7月4日(04.07.2024)

(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 2023-111726 2023年7月6日(06.07.2023) JP

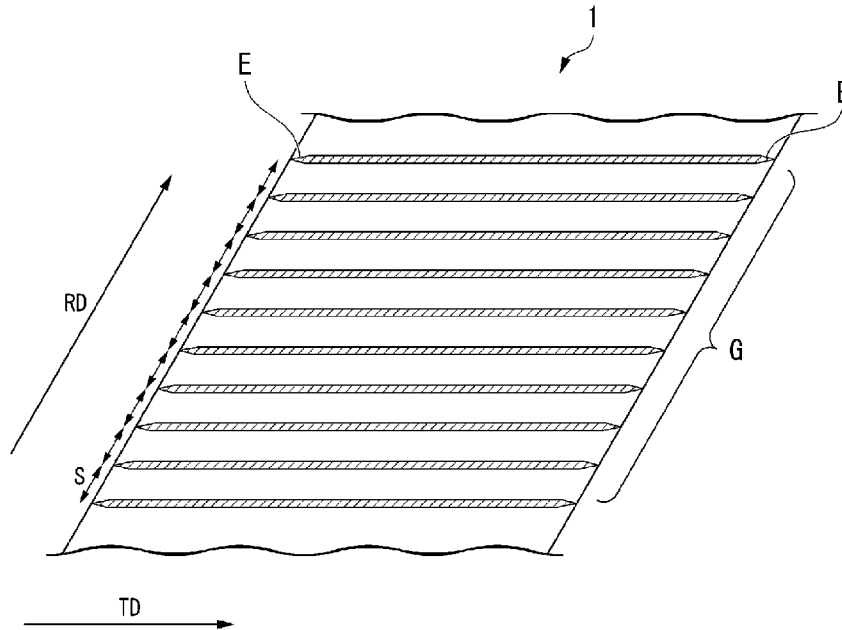
(71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 和田 直樹 (WADA Naoki); 〒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). 濱村 秀行 (HAMAMURA Hideyuki); 〒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). 高橋 克 (TAKAHASHI Masaru); 〒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).

(54) Title: GRAIN-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 方向性電磁鋼板およびその製造方法



(57) Abstract: This grain-oriented electromagnetic steel sheet comprises a base material steel sheet, a forsterite film that is optionally formed on the base material steel sheet, and an insulating film that is formed on the base material steel sheet or the forsterite film. The base material steel sheet has a plurality of grooves extending in a direction intersecting a rolling direction. A groove depth and a groove width at a plurality of positions on groove edge parts satisfy a prescribed relationship, where: the groove depth is a distance within the grooves, on a straight line that extends along a plate thickness direction of the base material steel sheet from a virtual line obtained by extending the surface of the base material steel sheet, from the virtual line to the grooves; the groove width is the rolling-direction width of the grooves; and the groove

(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))

edge parts are regions within 5 mm from groove edges toward groove-longitudinal-direction central parts, the groove longitudinal direction being the direction in which the grooves extend, and the groove edges being positions at which the groove depth is 0.0 μm .

(57) 要約: この方向性電磁鋼板は、母材鋼板と、任意に、母材鋼板上に形成されたフォルステライト皮膜と、前記母材鋼板上または前記フォルステライト皮膜上に形成された絶縁皮膜と、を備え、前記母材鋼板は、圧延方向と交差する方向に延在する溝を複数有し、前記溝の延在する方向を溝長手方向とし、前記溝の、前記母材鋼板の表面を延長した仮想線から前記母材鋼板の板厚方向に向かう直線の、前記仮想線から前記溝までの距離を、溝の深さとし、前記溝の、前記圧延方向の幅を、溝の幅とし、前記溝の深さが0.0 μm となる位置を、前記溝の端とし、前記溝の端から前記溝長手方向の中央部に向かって5 mmの領域を溝端部としたとき、前記溝端部の複数の位置の前記溝の深さと前記溝の幅とが、所定の関係を満たす。

明 細 書

発明の名称： 方向性電磁鋼板およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、方向性電磁鋼板およびその製造方法に関する。

本願は、2023年07月06日に、日本に出願された特願2023-111726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、軟磁性材料であり、主に、変圧器の鉄心材料として用いられる。そのため、方向性電磁鋼板には、高磁束密度かつ低鉄損という磁気特性が要求される。

鉄損とは、鉄心を交流磁場で励磁した場合に、熱エネルギーとして消費される損失であり、省エネルギーの観点から、鉄損はできるだけ低いことが求められる。鉄損の高低には、磁化率、板厚、皮膜張力、不純物量、電気抵抗率、結晶粒径、磁区幅などが影響する。方向性電磁鋼板に関し、様々な技術が開発されている現在においても、エネルギー変換効率を高めるため、鉄損を低減する研究開発が継続されている。

鉄損を低減する方法の一つとして、鋼板にレーザ照射を行う技術が提案されている。この技術では、レーザ照射により鋼板の表面に歪が導入され、磁区幅が細分化されることで鉄損の一部である渦電流損を低減することができる。とされている。

[0003] 例えば、特許文献1には、方向性電磁鋼板の表面に、集光した連続波レーザ光を、前記方向性電磁鋼板の圧延方向から傾斜した方向に走査しながら照射する工程と、前記連続波レーザ光を走査する部分を所定の間隔ですらしながら繰り返す工程を有し、前記連続波レーザ光の平均パワーを P (W)、前記走査の速度を V_c (mm/s)、前記所定の間隔を PL (mm)と表わし、投入エネルギー U_a を $U_a = P / (V_c \times PL)$ (mJ/mm²)と定義したとき、 $1.0\text{ mm} \leq PL \leq 3.0\text{ mm}$ 、及び $0.8\text{ mJ/mm}^2 \leq U_a \leq 2$

、 $0\text{ mJ}/\text{mm}^2$ 、を満たすことを特徴とする、レーザ光の照射により磁区が制御された方向性電磁鋼板の製造方法が開示されている。

特許文献1では、容易に、かつ高い生産性を確保しながら、方向性電磁鋼板のL方向及びC方向の両方向における鉄損を低減することができることが示されている。

[0004] しかしながら、例えば、巻き鉄心を製造する場合には、方向性電磁鋼板を曲げ加工して成形するため、歪取焼鈍が必要になる。したがって、上述するようなレーザ照射により表面に歪を導入する方法では、歪取焼鈍によって、方向性電磁鋼板に導入された歪が解放されてしまう。よって、レーザ照射による磁区細分化の効果が消失してしまう。

そのため、鋼板表面に溝を形成することによって、歪導入と同様に磁区幅を細分化し渦電流損を低減することが提案されている。このような場合、歪取焼鈍を行っても溝は消失しないため、磁区細分化の効果が消失することはない。

鋼板に溝を形成する方法には、例えば、電解エッチングによって方向性電磁鋼板の鋼板表面に溝を形成する電解エッチング法、機械的に歯車を方向性電磁鋼板の鋼板表面にプレスすることにより、鋼板表面に溝を形成する歯車プレス法、レーザ照射により鋼板（レーザ照射部）を溶融及び蒸発させて溝を形成するレーザ照射法が挙げられる。例えば、特許文献2には、レーザビームを制御して照射し、圧延方向幅 0.5 mm 以下、深さ $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の凹部を形成する、歪取焼鈍に耐え得る方向性電磁鋼板の鉄損特性を改善する方法が開示されている。

[0005] ここで、一般に、方向性電磁鋼板では、電氣的絶縁性、張力および耐熱性等を鋼板に与えるため、表面には絶縁皮膜が形成される。特許文献2に示されるように、方向性電磁鋼板では鋼板の幅方向と略平行に溝を形成することで磁区幅が細分化され、鉄損が低減される。一方、形成された溝の長手方向端部（始端付近及び終端付近）においては中央部と比較して幅や深さが変化する。そのため、溝の端部の隅々までコーティング溶液を塗布し難く、その

結果、溝端部では絶縁皮膜の密着性が十分でない箇所が生じる場合がある。溝端部においてこのような幅や深さに変化する領域の長さは、溝全体の長さに対して比較的小さい割合であることから、この領域において、絶縁皮膜の密着性が低くても磁気特性への影響はそれほど大きくないと考えられるが、溝端部の絶縁皮膜の密着性が低い場合、地鉄が表面に露出し、錆が発生する原因となり得る。また、このような地鉄が露出した箇所においては、方向性電磁鋼板を積層した際に層間電流が著しく流れ、鉄損が増大する可能性がある。

しかしながら、特許文献2では、このような地鉄の露出や錆の発生について検討されていない。

[0006] 溝の端部の形状を制御する技術として、例えば特許文献3には、線状又は点線状の溝を鋼帯表面に形成させる方向性けい素鋼板の製造方法において、鋼帯の幅方向端部のエッチングを抑制して、該幅方向端部における溝深さを、幅方向中央部における溝深さの70%以下にする技術が開示されている。

[0007] また、溝端部における絶縁皮膜等の密着性及び耐錆性を向上させる技術として、例えば特許文献4では、鋼板表面と溝端直線とが成す第一角度 θ と、溝平均深さDを平均溝幅Wで除したアスペクト比Aとが、 $\theta < -21 \times A + 77$ を満足する方向性電磁鋼板が開示されている。

[0008] また、特許文献5では、電磁鋼板の一面または両面に、圧延方向と交差する方向に形成された線状のグループを含み、前記グループは、グループの長手方向および鋼板の圧延面法線方向を含む断面において、傾斜部（GS）および平坦部（US）を含み、傾斜部の長さおよび平坦部の長さが所定の関係を満足する方向性電磁鋼板が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：日本国特許第4669565号公報

特許文献2：日本国特開平6-57335号公報

特許文献3：日本国特許第4016431号公報

特許文献4：日本国特許第6418322号公報

特許文献5：日本国特開2022-503782

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、特許文献3では、鋼帯の幅方向端部のエッチングを抑制して、該幅方向端部における溝深さを、幅方向中央部における溝深さの70%以下にするのは、線状溝を電解エッチングで導入した場合に、その後の工程における鋼帯破断の防止を図るためであり、溝端部における絶縁皮膜の密着性や耐錆性については言及されていない。

また、特許文献4では、溝端部における溝の幅及び深さに関しては何ら言及がなく、本発明者らが検討を行った結果、必ずしも溝端部における絶縁皮膜の密着性や耐錆性向上させることはできないことが分かった。

また、特許文献5では、溝端部における溝の幅に関しては何ら言及がなく、本発明者らが検討を行った結果、必ずしも溝端部における絶縁皮膜の密着性や耐錆性向上させることはできないことが分かった。また、必ずしも溝の形成による磁束密度の減少を抑制することはできないことが分かった。

[0011] 上述の通り、従来、溝形成による磁区細分化が行われる方向性電磁鋼板において、溝端部における絶縁皮膜の密着性、耐錆性を改善する技術については提案されているが、十分な検討がなされたとは言えない。

そのため、本発明は、溝端部においても絶縁皮膜の密着性が高く、耐錆性に優れる方向性電磁鋼板を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明者らは、溝端部での絶縁皮膜の密着性を高める方法について検討した。その結果、溝の形状を、溝の長手方向（溝長手方向）の先端に近づくに従って深さが浅くかつ幅が狭くなるようにした上で、深さと幅とが一定の関係を満足する形状にすることで、絶縁皮膜等の密着性及び耐錆性が向上することが分かった。

[0013] 本発明は、上記の知見に基づいてなされた。本発明の要旨は以下の通りで

ある。

[1] 本発明の一態様に係る方向性電磁鋼板は、母材鋼板と、任意に、母材鋼板上に形成されたフォルステライト皮膜と、前記母材鋼板上または前記フォルステライト皮膜上に形成された絶縁皮膜と、を備え、前記母材鋼板は、圧延方向と交差する方向に延在する溝を複数有し、前記溝の延在する方向を溝長手方向とし、前記溝の、前記母材鋼板の表面を延長した仮想線から前記母材鋼板の板厚方向に向かう直線の、前記仮想線から前記溝までの距離を、溝の深さとし、前記溝の、前記圧延方向の幅を、溝の幅とし、前記溝の深さが $0.0\mu\text{m}$ となる位置を、前記溝の端とし、前記溝の端から前記溝長手方向の中央部に向かって 5mm の領域を溝端部とし、前記溝端部の前記溝長手方向の、単位 μm での、前記溝の端から 1mm の位置における溝の深さを D_1 、溝の幅を W_1 とし、前記溝の端から 2mm の位置における溝の深さを D_2 、溝の幅を W_2 とし、前記溝の端から 3mm の位置における溝の深さを D_3 、溝の幅を W_3 とし、前記溝の端から 4mm の位置における溝の深さを D_4 、溝の幅を W_4 とし、前記溝の端から 5mm の位置における溝の深さを D_5 、溝の幅を W_5 とし、前記溝の、前記溝長手方向の中央部での溝の幅の平均を W_c 、溝の深さの平均を D_c としたとき、前記 D_1 、前記 D_2 、前記 D_3 、前記 D_4 、前記 D_5 、前記 W_1 、前記 W_2 、前記 W_3 、前記 W_4 及び前記 W_5 が、下記式(1)及び下記式(2)を満足し、前記溝端部において、前記溝の深さが $0.05 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅を $W_{0.05}$ 、前記溝の深さが $0.50 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅を $W_{0.50}$ とするととき、 $W_{0.05}$ と $W_{0.50}$ とが下記式(3)及び下記式(4)を満たす。

$$D_5 \geq D_4 \geq D_3 \geq D_2 \geq D_1 \cdots (1)$$

$$W_5 \geq W_4 \geq W_3 \geq W_2 \geq W_1 \cdots (2)$$

$$0.004 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.210 \cdots (3)$$

$$0.180 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.810 \cdots (4)$$

[2] [1]に記載の方向性電磁鋼板は、前記 $W_{0.05}$ と前記 $W_{0.50}$ が、下記式(5)及び式(6)を満たしてもよい。

$$0.008 \leq W0.05 / Wc \leq 0.160 \cdots (5)$$

$$0.380 \leq W0.50 / Wc \leq 0.710 \cdots (6)$$

[3] [1] に記載の方向性電磁鋼板は、前記D1、前記D2、前記D3、前記D4、前記D5が、下記式(1')を満足してもよい。

$$D5 > D4 > D3 > D2 > D1 \cdots (1')$$

[4] [2] に記載の方向性電磁鋼板は、前記D1、前記D2、前記D3、前記D4、前記D5が、下記式(1')を満足してもよい。

$$D5 > D4 > D3 > D2 > D1 \cdots (1')$$

[5] [1] ~ [4] のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板は、前記Dcが5.0~40.0 μm であり、前記Wcが10.0~200.0 μm であってもよい。

[6] [1] ~ [4] のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板は、複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ2~10mmであり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が60~120度であってもよい。

[7] [5] に記載の方向性電磁鋼板は、複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ2~10mmであり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が60~120度であってもよい。

[8] 本発明の一態様に係る方向性電磁鋼板の製造方法は、鋼板に対し、圧延方向と交差する方向に走査しながらレーザを照射して前記圧延方向に延在する溝を形成する溝形成工程と、前記溝形成工程後の前記鋼板に脱炭焼鈍を行う脱炭焼鈍工程と、前記脱炭焼鈍工程後の前記鋼板に仕上げ焼鈍を行う仕上げ焼鈍工程と、母材鋼板となる前記仕上げ焼鈍工程後の前記鋼板に対し、絶縁皮膜を形成する処理を行って、前記母材鋼板と、前記母材鋼板上に任意に形成されたフォルステライト皮膜と、前記母材鋼板上または前記フォルステライト皮膜上に形成された前記絶縁皮膜とを有する方向性電磁鋼板を得る、絶縁皮膜形成工程と、を備え、前記溝形成工程では、前記溝の延在する方向を溝長手方向とし、前記溝の、前記母材鋼板の表面を延長した仮想線から前記母材鋼板の板厚方向に向かう直線の、前記仮想線から前記溝までの距離

を、溝の深さとし、前記溝の、前記圧延方向の幅を、溝の幅とし、前記溝の深さが $0.0\mu\text{m}$ となる位置を、前記溝の端とし、前記溝の端から前記溝長手方向の中央部に向かって 5mm の領域を溝端部とし、前記溝端部の前記溝長手方向の、単位 μm での、前記溝の端から 1mm の位置における溝の深さを $D1$ 、溝の幅を $W1$ とし、前記溝の端から 2mm の位置における溝の深さを $D2$ 、溝の幅を $W2$ とし、前記溝の端から 3mm の位置における溝の深さを $D3$ 、溝の幅を $W3$ とし、前記溝の端から 4mm の位置における溝の深さを $D4$ 、溝の幅を $W4$ とし、前記溝の端から 5mm の位置における溝の深さを $D5$ 、溝の幅を $W5$ とし、前記溝の、前記溝長手方向の中央部での溝の幅の平均を Wc 、溝の深さの平均を Dc としたとき、前記溝端部において、前記溝の端からの距離に応じて、レーザの焦点と前記母材鋼板の表面との距離を変化させることで、前記 $D1$ 、前記 $D2$ 、前記 $D3$ 、前記 $D4$ 、前記 $D5$ 、前記 $W1$ 、前記 $W2$ 、前記 $W3$ 、前記 $W4$ 及び前記 $W5$ が、下記式(1)及び下記式(2)を満足するように、かつ、前記溝端部において、前記溝の深さが $0.05 \times Dc$ となる部分の前記溝の幅を $W0.05$ 、前記溝の深さが $0.50 \times Dc$ となる部分の前記溝の幅を $W0.50$ とすると、 $W0.05$ と $W0.50$ とが下記式(3)及び下記式(4)を満たすように、前記レーザを照射して、前記溝を形成する。

$$D5 \geq D4 \geq D3 \geq D2 \geq D1 \dots (1)$$

$$W5 \geq W4 \geq W3 \geq W2 \geq W1 \dots (2)$$

$$0.004 \leq W0.05 / Wc \leq 0.210 \dots (3)$$

$$0.180 \leq W0.50 / Wc \leq 0.810 \dots (4)$$

[9] [8]に記載の方向性電磁鋼板の製造方法では、前記溝形成工程では、前記 $W0.05$ と前記 $W0.50$ とが、下記式(5)及び式(6)を満たすように前記溝を形成してもよい。

$$0.008 \leq W0.05 / Wc \leq 0.160 \dots (5)$$

$$0.380 \leq W0.50 / Wc \leq 0.710 \dots (6)$$

[10] [8]または[9]に記載の方向性電磁鋼板の製造方法では、前記

溝形成工程では、前記レーザの照射条件として、前記レーザの出力を200～3000W、前記レーザの前記圧延方向における前記出力の86%を含む直径である集光スポット径を10～1000 μ m、前記レーザの板幅方向における前記集光スポット径を10～1000 μ m、走査速度を2～50m/sとし、前記Dcが5.0～40.0 μ m、前記Wcが10.0～200.0 μ mとなる前記溝を形成してもよい。

[11][8]または[9]に記載の方向性電磁鋼板の製造方法では、前記溝形成工程では、複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ2～10mmであり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が60～120度となるように、前記溝を形成してもよい。

[12][10]に記載の方向性電磁鋼板の製造方法では、前記溝形成工程では、複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ2～10mmであり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が60～120度となるように、前記溝を形成してもよい。

発明の効果

[0014] 本発明の上記態様によれば、溝端部においても絶縁皮膜の密着性が高く、耐錆性に優れる方向性電磁鋼板が得られる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の溝の形成の例を示す図である。

[図2A]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の、圧延方向及び板厚方向に平行な断面の、溝を含む範囲の、模式図である。

[図2B]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の、板厚方向及び溝の延在する方向に平行でかつ溝の幅の中心を通る断面の、模式図である。

[図3A]溝の幅、深さの測定のために絶縁皮膜を除去した後の、本実施形態に係る方向性電磁鋼板の、圧延方向及び板厚方向に平行な断面の、溝を含む範囲の、模式図である。

[図3B]溝の幅、深さの測定のために絶縁皮膜を除去した後の、本実施形態に係る方向性電磁鋼板の、板厚方向及び溝の延在する方向に平行でかつ溝の幅

の中心を通る断面の、模式図である。

発明を実施するための形態

[0016] 本発明の一実施形態に係る方向性電磁鋼板（本実施形態に係る方向性電磁鋼板）及びその製造方法について説明する。

[0017] 図1、図2A、図2Bに示されるように、本実施形態に係る方向性電磁鋼板1は、母材鋼板2と、母材鋼板2上に形成された絶縁皮膜3と、を備える。

または、図には示さないが、母材鋼板2と絶縁皮膜3との間にフォスフェイト皮膜を有していてもよい。すなわち、母材鋼板2と、母材鋼板2上に形成されたフォスフェイト皮膜と、フォスフェイト皮膜上に形成された絶縁皮膜3とを備えていてもよい。

本実施形態に係る方向性電磁鋼板1では、母材鋼板2は、圧延方向と交差する方向に延在する溝を複数有している。また、複数の溝は、溝の端Eから溝長手方向の中央部に向かって5mmの領域である溝端部において、いずれも後述する所定の形状を有している。

以下、詳細に説明する。

[0018] 説明に際し、本実施形態では、溝の延在する方向を溝長手方向とする。また、溝の、母材鋼板の表面を延長した仮想線から母材鋼板の板厚方向に向かう直線の、仮想線から溝（溝の底）までの距離を、溝の深さとし、溝の圧延方向の幅を、溝の幅とする。また、溝の深さが0.0 μ mとなる位置を、溝の端とし、溝の端から溝長手方向の中央部に向かって5mmの領域を溝端部とする。また、溝端部の溝長手方向の、単位 μ mでの、溝の端から1mmの位置における溝の深さをD1、溝の幅をW1とし、溝の端から2mmの位置における溝の深さをD2、溝の幅をW2とし、溝の端から3mmの位置における溝の深さをD3、溝の幅をW3とし、溝の端から4mmの位置における溝の深さをD4、溝の幅をW4とし、溝の端から5mmの位置における溝の深さをD5、溝の幅をW5とする。また、溝の、前記溝長手方向の中央部での溝の幅の平均をWc、溝の深さの平均をDcとする。

[0019] <方向性電磁鋼板>

[母材鋼板]

(溝)

方向性電磁鋼板では鉄損の低減を目的として、鋼板の板幅方向と略平行に溝を形成する。一方、従来、溝長手方向の端部（始端付近及び終端付近）においては中央部と比較して幅や深さが変化し、絶縁皮膜の密着性が十分でない箇所が生じる場合があった。

これに対し、本実施形態に係る方向性電磁鋼板 1 では、母材鋼板 2 に形成された溝 G の、溝の端 E（溝の深さが $0.0\mu\text{m}$ となる位置）から溝長手方向の中央部に向かって 5mm の領域である溝端部において、溝長手方向の先端（端 E）に近づくに従い溝の深さが浅く、溝の幅が狭くなり、溝の深さと溝の幅とが所定の関係を満足する形状にすることで、絶縁皮膜の密着性が向上する。

より具体的には、溝端部の溝の端から $1\sim 5\text{mm}$ の各位置での溝の深さ $D_1\sim D_5$ 及び溝の幅 $W_1\sim W_5$ が、下記式（1）及び式（2）を満足し（ただし $D_5\neq D_1$ かつ $W_5\neq W_1$ ）、かつ、溝端部において、溝の深さが $0.05\times D_c$ となる部分の溝の幅を $W_{0.05}$ 、溝の深さが $0.50\times D_c$ となる部分の溝の幅を $W_{0.50}$ とするとき、 $W_{0.05}$ と $W_{0.50}$ とが下記式（3）及び下記式（4）を満たすことで、絶縁皮膜等の密着性が向上する。

$$D_5\geq D_4\geq D_3\geq D_2\geq D_1\cdots(1)$$

$$W_5\geq W_4\geq W_3\geq W_2\geq W_1\cdots(2)$$

$$0.004\leq W_{0.05}/W_c\leq 0.210\cdots(3)$$

$$0.180\leq W_{0.50}/W_c\leq 0.810\cdots(4)$$

[0020] 溝端部において、溝の形状が、式（1）～（4）を満足することで、絶縁皮膜の密着性が向上する理由は明らかではないが、式（1）～（4）を満足する場合、溝端部における溝の幅や溝の深さ変化がなだらかであり、溝の隅々までコーティング溶液を塗布し易くなるためと考えられる。また、上記を

満足する場合、地鉄が溝により減少する量を減らせるので、磁束密度が高くなるという効果もある。

[0021] 上述の通り、本実施形態に係る方向性電磁鋼板 1 の母材鋼板 2 では、溝長手方向の先端に近づくに従い溝の深さが浅く溝の幅が狭くなる。式 (1)、(2) から分かるように、連続的に溝の深さ、溝の幅が変化してもよいが ($D_5 > D_4 > D_3 > D_2 > D_1$)、一定範囲で変化しない領域があってもよい (例えば、 $D_5 = D_4 \geq D_3 = D_2 \geq D_1$ であってもよい)。

式 (1) および／または式 (2) を満たさない場合、溝長手方向の先端において溝の深さや幅が急に変化し、その領域においてコーティング溶液を塗布し難くなるため、絶縁皮膜の密着性が低下すると考えられる。

[0022] また、式 (3)、式 (4) に示されるように、本実施形態に係る方向性電磁鋼板 1 の母材鋼板 2 では、溝の深さが浅い部位では溝の幅も狭くなる。

式 (3) および／または式 (4) を満たさない場合、すなわち、溝端部において、溝の深さの変化の度合いと、溝の幅の変化の度合いとが大きく異なる場合、溝の幅は狭いが溝の深さが深い領域が存在し、その領域においてコーティング溶液を塗布し難くなるため、絶縁皮膜の密着性が低下すると考えられる。

[0023] $W_{0.05}$ 及び $W_{0.50}$ は、式 (3') 及び (4') を満足することが好ましく、式 (5) 及び (6) を満足することがより好ましく、式 (5') 及び (6') を満足することがさらに好ましい。

$$0.005 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.200 \dots (3')$$

$$0.200 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.800 \dots (4')$$

$$0.008 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.160 \dots (5)$$

$$0.380 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.710 \dots (6)$$

$$0.010 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.150 \dots (5')$$

$$0.400 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.700 \dots (6')$$

この場合、さらに絶縁皮膜の密着性が向上する効果が得られる。

[0024] 溝端部以外の溝の形状は、限定されないが、溝長手方向の中央部における

溝の深さの平均 D_c が $5.0 \sim 40.0 \mu m$ であり、溝の幅の平均 W_c が $10.0 \sim 200.0 \mu m$ であることが好ましい。

この範囲とすることで、磁区細分化による鉄損低減効果が大きくなる。

[0025] 複数の溝 G の、圧延方向 RD の間隔 S がそれぞれ $2 \sim 10 mm$ であることが好ましい。溝の間隔 S とは、溝の幅方向の中心から隣の溝の幅方向の中心までの距離である。複数の溝 G の間隔は、それぞれが上記範囲であれば等間隔でなくてもよいが、等間隔であることが好ましい。

また、溝が延在する方向（溝長手方向）と圧延方向とのなす角が $60 \sim 120$ 度であることが好ましい。圧延方向に対して直交する方向に近い方が好ましいので、より好ましくは圧延方向に対して $75 \sim 115$ 度である。複数の溝はそれぞれが略平行であることが好ましい。

溝の延在方向および間隔が上記の範囲にある場合、鉄損低減効果が大きくなる。溝の形状は、限定されず、例えば断面が、略矩形状または略三角形である。また、断面が、円の一部を構成する弓型などであってもよい。

[0026] 溝は、方向性電磁鋼板の板幅方向に延在し、直線状である。溝は、方向性電磁鋼板の板幅方向全域に亘って形成されていてもよいが、板幅方向の一部に形成されていてもよい。

[0027] 溝端部における溝の深さ（ $D_1 \sim D_5$ ）及び溝の幅（ $W_1 \sim W_5$ ）はレーザー顕微鏡（ピンホールによる共焦点光学系を用いた3Dレーザー顕微鏡）を用いて、測定する。方向性電磁鋼板が絶縁皮膜を有する場合、これを除いた母材鋼板の表面における溝の深さ及び溝の幅を測定する。

具体的には、まず、方向性電磁鋼板の絶縁皮膜は、例えば、次の方法によって除去することができる。絶縁皮膜を有する方向性電磁鋼板を、 $NaOH : 30 \text{ 質量\%} + H_2O : 70 \text{ 質量\%}$ からなる $80^\circ C$ の水酸化ナトリウム水溶液に、20分間浸漬した後、水洗する。最後に、温風のブローアで1分間乾燥させる。

上記の要領で絶縁皮膜を除去した後、レーザー顕微鏡を用いた測定により、板厚方向及び溝の延在する方向に平行でかつ溝の幅の中心を通る断面におい

て、溝の輪郭を成す測定断面曲線を得る。この測定断面曲線にカットオフ値 λ_s の低域フィルタを適用して断面曲線を得た後、その断面曲線にカットオフ値 λ_f と λ_c の帯域フィルタを適用して、断面曲線から長い波長成分と短い波長成分を除去する。これにより、図3Bに示すように、板厚方向及び溝の延在する方向に平行でかつ溝の幅の中心を通る断面における溝の輪郭を成すうねり曲線WCLが得られる。うねり曲線は、輪郭の形状そのものを滑らかな線で単純化するのに適した輪郭曲線の一種である。

前記うねり曲線WCLにおいて、母材鋼板の表面を延長した溝の延在方向（紙面では左右方向）に仮想線ILを引き、仮想線ILの始点、すなわち溝の深さが0.0 μ mとなる位置を、溝の端Eとする。溝の端Eから溝の延在方向（紙面では右方向）に1mmの位置において、仮想線ILと、母材鋼板2との直線距離を求め、これを溝の深さD1とする。

また、溝の深さD1を求めた位置において、レーザ顕微鏡を用いた測定により、圧延方向及び板厚方向に平行な断面において、溝の輪郭を成す測定断面曲線を得る。この測定断面曲線にカットオフ値 λ_s の低域フィルタを適用して断面曲線を得た後、その断面曲線にカットオフ値 λ_f と λ_c の帯域フィルタを適用して、断面曲線から長い波長成分と短い波長成分を除去すると、図3Aに示すように、圧延方向及び板厚方向に平行な断面における溝の輪郭を成すうねり曲線WCTが得られる。うねり曲線WCTにおいて、母材鋼板の表面を圧延方向に延長した仮想線ILの長さを求め、これを溝の幅W1とする。

同様の要領で、溝の端Eから溝の延在方向に2mm、3mm、4mm、5mmの位置で、溝の深さD2、D3、D4、D5、溝の幅W2、W3、W4、W5を、それぞれ求める。

[0028] また、溝長手方向の中央部における溝の深さの平均Dc、及び溝の幅の平均Wcについては、レーザ顕微鏡を用いて、溝端部における溝の深さ及び溝の幅と同様の方法で測定する。1本の溝の溝長手方向の中央部（中心 $\pm$ 10mmの範囲）において、任意の5か所で溝の深さ及び溝の幅を測定し、それ

それぞれの平均値を溝の深さの平均 D_c 、溝の幅の平均 W_c とする。

[0029] また、溝端部において、溝の深さが $0.05 \times D_c$ となる部分の溝の幅 $W_{0.05}$ 、溝の深さが $0.50 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅 $W_{0.50}$ は、レーザ顕微鏡を用いて測定する。

図3Bに示すような、板厚方向及び溝の延在する方向に平行でかつ溝の幅の中心を通る断面において溝の輪郭を成すうねり曲線 WCL より、溝の深さが $0.05 \times D_c$ 、 $0.50 \times D_c$ となる位置の、溝の端Eからの直線距離を求める。それぞれの位置において、レーザ顕微鏡を用いた測定により、圧延方向及び板厚方向に平行な断面において、溝の輪郭を成す測定断面曲線を得る。この測定断面曲線にカットオフ値 λ_s の低域フィルタを適用して断面曲線を得た後、その断面曲線にカットオフ値 λ_f と λ_c の帯域フィルタを適用して、断面曲線から長い波長成分と短い波長成分を除去すると、圧延方向及び板厚方向に平行な断面のうねり曲線 WCT が得られる。それぞれのうねり曲線 WCT 上において、母材鋼板の表面を圧延方向に延長した仮想線 IL の長さを求め、これらを $W_{0.05}$ 、 $W_{0.50}$ とする。

[0030] 母材鋼板に複数の溝が形成されている場合は、全ての溝において式(1)～(4)を満足していることが好ましい。さらに式(3')及び(4')、または式(5)及び(6)、または式(5')及び(6')を満足することがより好ましい。

同条件で、圧延方向に等間隔で繰り返し溝を形成する場合には、1本の溝が、式(1)～(4)を満足していれば、その他の溝についても、式(1)～(4)を満足すると考えられる。但し、母材鋼板の板幅の端まで溝が形成されている場合は、その溝の端部に溝の端Eが存在しないことになるため、上述の測定を行わない(測定対象の溝としない)。

[0031] (化学組成)

方向性電磁鋼板の母材鋼板の化学組成は限定されず、公知の方向性電磁鋼板の母材鋼板と同等であればよい。例えば、化学組成として、質量%で、 $Si: 2.50 \sim 4.50\%$ 、 $Mn: 0.010 \sim 0.150\%$ 、 $C: 0 \sim 0$

、0.85%、酸可溶性Al：0～0.065%、N：0～0.012%、Cr：0～0.30%、Cu：0～0.40%、P：0～0.50%、Sn：0～0.30%、Sb：0～0.30%、Ni：0～1.00%、S：0～0.015%、Se：0～0.015%、Bi：0～0.10%、Nb：0～0.10%、V：0～0.10%、Mo：0～0.10%、Ta：0～0.10%、W：0～0.10%、B：0～0.080%、Ti：0～0.10%を含有することができる。また、上記を含有し、残部がFe及び不純物であってもよい。

[0032] 方向性電磁鋼板（母材鋼板）の化学組成は、鋼の一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、化学成分は、ICP-AES（Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry）を用いて測定すればよい。母材鋼板の化学成分は、後述するフォルステライト皮膜および絶縁皮膜が形成されている場合には、方向性電磁鋼板から、絶縁皮膜を上述した方法により除去した後、酸洗等の公知の方法によりフォルステライト被膜を除去してから分析を行えばよい。具体的には、例えば、必要に応じて皮膜を除去した後の母材鋼板の中央の位置から35mm角（35mm×35mm）の試験片を取得し、島津製作所製ICPS-8100等（測定装置）により、予め作成した検量線に基づいた条件で測定することにより分析できる。ICP-AESでは測定が困難な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-熱伝導度法を用いて測定すればよい。

[0033] （板厚）

方向性電磁鋼板の母材鋼板の板厚は、限定されないが、0.15～0.30mmであることが好ましい。母材鋼板の板厚が0.30mmを超えると古典的渦電流損が大きくなり、鉄損が増大する。一方、板厚が0.15mmよりも小さいと圧延効率が低下し、生産性、コストの点で不利である。

[0034] [フォルステライト皮膜]

[絶縁皮膜]

本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、母材鋼板と、母材鋼板の表面に形成された絶縁皮膜とからなっているもよいが、母材鋼板の表面に、フォスフェイト皮膜が形成されているもよい。その場合、絶縁皮膜はフォスフェイト皮膜の表面に形成されているもよい。

すなわち、本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、母材鋼板と母材鋼板上に形成されたフォスフェイト皮膜とフォスフェイト皮膜上に形成された絶縁皮膜とからなっているもよい。

フォスフェイト皮膜及び絶縁皮膜は片面に形成されているもよいが、両面に形成されているもよい。

フォスフェイト皮膜は、ケイ酸マグネシウムを主成分とする無機質の皮膜である。フォスフェイト皮膜は、仕上げ焼鈍において、母材鋼板の表面に塗布されたマグネシア (MgO) を含む焼鈍分離剤と母材鋼板の表面の成分とが反応することにより形成され、焼鈍分離剤及び母材鋼板の成分に由来する組成（より詳細には、 Mg_2SiO_4 を主成分とする組成）を有する。

一方、仕上げ焼鈍において、 Al_2O_3 を主体とする焼鈍分離剤を用いた場合には、フォスフェイト皮膜は形成されない場合がある。

絶縁皮膜は、方向性電磁鋼板に電氣的絶縁性や張力を付与するという機能を有する。方向性電磁鋼板に張力を付与して、方向性電磁鋼板における磁壁移動を容易にすることで、方向性電磁鋼板の鉄損を低減することができる。

また、絶縁皮膜によれば、上記のような電氣的絶縁性や張力以外にも、耐錆性、耐熱性、すべり性といった種々の特性が得られる。

本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、絶縁皮膜は、例えば、リン酸塩とコロイダルシリカとを主成分とするコーティング溶液を母材鋼板またはフォスフェイト皮膜の表面に塗布し、焼付けること（絶縁皮膜を形成する処理）によって形成される公知の皮膜であってよい。

[0035] <製造方法>

本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、製造方法によらず上記の特徴を有していれば、その効果は得られるが、以下の工程を含む製造方法であれば安定

して製造できるので好ましい。

(I) 鋼板に対し、圧延方向と交差する方向に延在する溝を、前記圧延方向に所定の間隔で複数形成する溝形成工程と、

(I I) 前記溝形成工程後の前記鋼板に脱炭焼鈍を行う脱炭焼鈍工程と、

(I I I) 前記脱炭焼鈍工程後の前記鋼板に仕上げ焼鈍を行う仕上げ焼鈍工程と、

(I V) 母材鋼板となる前記仕上げ焼鈍工程後の前記鋼板（母材鋼板上にフォスフェイト皮膜が形成されている場合もある）に対し、絶縁皮膜を形成する処理を行って、前記母材鋼板と、任意の前記母材鋼板上に形成されたフォスフェイト皮膜と、前記母材鋼板上または前記フォスフェイト皮膜上に形成された前記絶縁皮膜とを有する方向性電磁鋼板を得る、絶縁皮膜形成工程。

また、溝形成工程に供する鋼板は、鋼板が冷延鋼板の場合、以下の工程を含む製造方法によって製造可能である。

(V) スラブを、加熱して熱間圧延して熱延鋼板とする熱間圧延工程と、

(V I) 前記熱間圧延工程後の前記熱延鋼板を焼鈍する熱延鋼板焼鈍工程と、

(V I I) 前記熱延鋼板焼鈍工程後の前記熱延鋼板を、酸洗し、冷間圧延して冷延鋼板とする冷間圧延工程。

[0036] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板を得るために特徴的な溝形成工程について、説明する。それ以外の工程は、目標とする溝形成前の磁束密度に応じて公知の条件を設定すればよいので、説明を省略する。

ただし、仕上げ焼鈍工程では、一般に、主として MgO や Al_2O_3 からなる焼鈍分離剤を塗布してから仕上げ焼鈍を行う。例えば、 MgO を主成分とする焼鈍分離剤を用いると、フォスフェイト(Mg_2SiO_4)皮膜の層が形成される。 Al_2O_3 を主成分とする焼鈍分離剤を用いた場合、フォスフェイト皮膜は形成されない場合がある。

そのため、フォスフェイト皮膜の形成の要否に応じて、焼鈍分離剤を選

定すればよい。

[0037] また、熱間圧延に供するスラブの化学組成は、方向性電磁鋼板として得たい化学組成に応じ、各工程での化学組成の変化を考慮して決定すればよい。

例えば、上述した好ましい本実施形態に係る方向性電磁鋼板の母材鋼板の化学組成を得る場合、以下の化学組成を有するスラブを用いることが好ましい。

すなわち、スラブは、化学組成として、質量%で、Si : 2.50~4.50%、Mn : 0.010~0.150%、C : 0.020~0.100%、酸可溶性Al : 0~0.065%、N : 0.002~0.030%、Cr : 0~0.30%、Cu : 0~0.40%、P : 0~0.50%、Sn : 0~0.30%、Sb : 0~0.30%、Ni : 0~1.00%、S : 0.001~0.050%、Se : 0~0.050%、Bi : 0~0.10%、Nb : 0~0.10%、V : 0~0.10%、Mo : 0~0.10%、Ta : 0~0.10%、W : 0~0.10%、B : 0~0.080%、Ti : 0~0.10%を含有することができる。また、上記を含有し、残部がFe及び不純物であってもよい。

[0038] (溝形成工程)

溝形成工程では、熱延鋼板や冷延鋼板などの鋼板に対し、圧延方向と交差する方向に延在する溝を、前記圧延方向に所定の間隔で複数形成する。圧延方向と交差する方向に延在する溝は、圧延方向と交差する方向に走査しながらレーザを照射することで形成することができる。また、レーザ光を走査する部分を圧延方向に所定の間隔ですらしながら繰り返すことで、圧延方向に所定の間隔で複数の溝が形成される。

溝形成の際、溝端部において、溝の端からの距離に応じて、レーザの焦点と母材鋼板の表面との距離を変化させることで、D1、D2、D3、D4、D5、W1、W2、W3、W4及びW5が、下記式(1)及び下記式(2)を満足するように、かつ、溝端部において、溝の深さが $0.05 \times D_c$ となる部分の溝の幅をW0.05、溝の深さが $0.50 \times D_c$ となる部分の溝の

幅を $W0.50$ とすると、 $W0.05$ と $W0.50$ とが下記式(3)及び下記式(4)を満たすように、レーザを照射して、溝を形成する。

好ましくは、 $W0.05$ と $W0.50$ とが、下記式(3')及び式(4')、下記式(5)及び式(6)、または下記式(5')及び式(6')を満たすように前記溝を形成する。

式(1)～(4)を満足する溝を形成することで、後工程で形成する絶縁皮膜の密着性が向上し、絶縁皮膜の密着性に優れた方向性電磁鋼板を製造することができる。

$$D5 \geq D4 \geq D3 \geq D2 \geq D1 \cdots (1)$$

$$W5 \geq W4 \geq W3 \geq W2 \geq W1 \cdots (2)$$

$$0.004 \leq W0.05 / Wc \leq 0.210 \cdots (3)$$

$$0.180 \leq W0.50 / Wc \leq 0.810 \cdots (4)$$

$$0.005 \leq W0.05 / Wc \leq 0.200 \cdots (3')$$

$$0.200 \leq W0.50 / Wc \leq 0.800 \cdots (4')$$

$$0.008 \leq W0.05 / Wc \leq 0.160 \cdots (5)$$

$$0.380 \leq W0.50 / Wc \leq 0.710 \cdots (6)$$

$$0.010 \leq W0.05 / Wc \leq 0.150 \cdots (5')$$

$$0.400 \leq W0.50 / Wc \leq 0.700 \cdots (6')$$

[0039] レーザ照射による溝の形成に際しては、レーザの焦点を鋼板の表面から外すことで、鋼板の表面におけるレーザエネルギーが小さくなり、溝の深さが浅くかつ溝の幅が狭くなる。そのため、溝の端からの距離に応じて、レーザの焦点と母材鋼板の表面との距離を変化させる。すなわち、1本の溝のレーザの照射の開始時は、レーザの焦点を鋼板の表面から外れた位置とし、走査に伴って徐々に焦点が鋼板の表面に合うように移動させることで、溝の始点から一定の範囲において、溝の深さ、溝の幅を変化させることができる。また、同様に、1本の溝のレーザの照射の終了時は、レーザの焦点が鋼板の表面から外れた位置となるように移動させることで、溝の終点から一定の範囲において、溝の深さ、溝の幅を変化させることができる。また、レーザの出

力や集光スポット径、走査速度を変更することによっても、溝の深さ、溝の幅を変化させることができる。変更する条件によって溝の深さと溝の幅とはそれぞれ独立で変化させることができるので、各条件は、溝の深さ、溝の幅が、式（１）～（４）を満足するように、組み合わせて設定する。

レーザの焦点を、移動させる方法としては、光学部品の位置を変位させる方法などが挙げられる。

[0040] 溝形成工程では、磁区細分化の観点から、溝長手方向の中央部における溝の深さの平均 D_c が $5.0 \sim 40.0 \mu m$ 、溝の幅の平均 W_c が $10.0 \sim 200.0 \mu m$ となる溝を形成することが好ましい。

溝形成工程において、レーザの照射条件は限定されないが、溝端部以外の領域では、レーザの出力を $200 \sim 3000 W$ 、レーザの前記圧延方向における前記出力の 86% を含む直径である集光スポット径を $10 \sim 1000 \mu m$ 、レーザの板幅方向における集光スポット径を $10 \sim 1000 \mu m$ 、走査速度を $2 \sim 50 m/s$ とすることが好ましい。

この場合、 D_c 、 W_c が好ましい範囲にある溝を形成することが容易となる。

[0041] また、溝形成工程では、複数の溝の、圧延方向の間隔がそれぞれ $2 \sim 10 mm$ であり、溝長手方向と圧延方向とのなす角が $60 \sim 120$ 度（°）となるように、溝を形成することが好ましい。

この場合、鉄損低減効果が大きくなる。

実施例

[0042] 質量％で、 $Si : 3.30\%$ 、 $Mn : 0.120\%$ 、 $C : 0.060\%$ 、酸可溶性 $Al : 0.028\%$ 、 $N : 0.008\%$ 、 $Cr : 0.050\%$ 、 $Cu : 0.040\%$ 、 $P : 0.010\%$ 、 $Sn : 0.020\%$ 、 $Ni : 0.005\%$ 、 $S : 0.007\%$ を含有し、残部が Fe 及び不純物からなる化学組成を有するスラブを、熱間圧延工程して板厚が $2.6 mm$ の熱延鋼板とした。

この熱延鋼板を、 $1100^\circ C$ に加熱し１分間保持する条件で、熱延鋼板焼

鈍した。

熱延鋼板焼鈍後の熱延鋼板を、酸洗し、冷間圧延して厚さが0.22mmの冷延鋼板とした。

得られた冷延鋼板に対し、各No.ごとに、表1に示す種々の条件でレーザ照射し、複数の溝を形成した（1枚の冷延鋼板の中ではレーザ照射条件は同じとした）。溝の端部については、ポリゴンミラーの位置を変位させることで、溝の深さ、幅が徐々に変化するようにした。

溝形成後の冷延鋼板を、850℃に加熱し2分間保持する条件で脱炭焼鈍を行った。

脱炭焼鈍後の冷延鋼板に、マグネシア（MgO）を主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、1200℃に加熱し、20時間保持する条件で仕上げ焼鈍を行った。その結果、冷延鋼板（母材鋼板）の表面にフォステライト皮膜が形成された鋼板が得られた。

次に、フォステライト皮膜の上に、コロイダルシリカ及びリン酸アルミニウムを含有するコーティング溶液を塗布し、850℃に加熱し1分間保持する条件で熱処理を実施することで絶縁皮膜を形成した。絶縁皮膜の厚みは5μmであった。

得られた方向性電磁鋼板から幅方向に60mm、圧延方向に300mmの試料を採取し、この試料に対し、JIS C2556（2015）に準拠して単板磁気特性試験（SST試験）を実施し、800A/mにて磁化した際に生じる磁束密度B₈を測定した。

[0043] 得られた方向性電磁鋼板の、溝の端部を含む部分から、30mm×30mmの試験片を採取し、絶縁皮膜を上述の方法で除去した後、代表して1本の溝について、溝長手方向の中央部における溝の深さの平均D_c、溝の幅の平均W_c、溝端部の溝の端から1mm～5mmの各位置における溝の深さD₁～D₅及び溝の幅W₁～W₅を、上述の方法で測定した。また、同じ溝について、溝端部において、溝の深さが0.05×D_cとなる部分の溝の幅をW_{0.05}、溝の深さが0.50×D_cとなる部分の前記溝の幅を上述の方法

で測定した。

結果を表2に示す。

[0044] 得られた方向性電磁鋼板の、絶縁皮膜の密着性及び耐錆性を以下の方法で評価した。

結果を表3に示す。

[0045] <絶縁皮膜の密着性>

得られた方向性電磁鋼板の溝の端部を含む部分から、80mm×80mmの試験片を切り出して、直径20mmの丸棒に巻き付け、次いで、平らに伸ばした。

平らに伸ばした後の試験片表面を観察し、曲げ部の面積に対して鋼板から剥離していない絶縁皮膜の面積を測定して、皮膜残存面積率(%)を算出した。

皮膜残存面積率が95%以上となった試験片の絶縁皮膜密着性を“優良(Ex)”と評価し、皮膜残存面積率が90%以上95%未満となった試験片の絶縁皮膜密着性を“良(G)”と評価し、皮膜残存面積率が90%未満となった試験片の絶縁皮膜密着性を“不良(P)”と評価した。

[0046] <耐錆性>

得られた方向性電磁鋼板の溝の端部を含む部分から、30mm×30mmの試験片を採取し、その試験片を、温度50℃及び湿度91%の雰囲気中に1週間放置して、その前後における試験片の重量変化に基づいて評価した。錆が発生すると試験片の重量が増加するため、重量増加量が少ないものほど耐錆性が良いと判断した。

具体的には、重量増加量が1.0mg/m²以下の試験片の耐錆性を“優良(Ex)”と評価し、重量増加量が5.0mg/m²以下の試験片の耐錆性を“良(G)”と評価し、重量増加量が5.0mg/m²超の試験片の耐錆性を“不良(P)”と評価した。

[0047]

[表1]

No.	溝形成工程			
	レーザ照射条件			
	出力	圧延方向 集光スポット径	板幅方向 集光スポット径	走査速度
	W	μm	μm	m/s
1	500	100	100	10
2	500	100	100	10
3	500	100	100	10
4	500	100	100	10
5	500	100	100	10
6	500	100	100	10
7	500	100	100	10
8	500	500	500	10
9	500	400	400	10
10	500	100	100	10
11	500	100	100	10
12	500	100	100	10
13	500	100	100	10

[0048]

[表2]

溝																
No.	延在方向と 圧延方向とが なす角	各溝 の 圧延方向 の間隔	溝長手方向の 中央部		溝端部											
			溝の 深さの 平均 Dc	溝の 幅の 平均 Wc	D1	D2	D3	D4	D5	W1	W2	W3	W4	W5	D 0.05 μm	D 0.50 μm
			μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
1	95	4	20.1	39.0	4.2	8.1	12.4	17.5	19.8	10.5	15.4	20.4	24.1	33.4	1.0	10.1
2	95	4	19.5	42.0	3.3	7.1	10.5	16.4	18.7	9.7	17.8	21.5	25.7	30.4	1.0	9.8
3	95	4	21.4	40.1	5.5	10.4	13.7	18.7	20.1	5.4	14.9	19.7	26.7	37.4	1.1	10.7
4	95	4	19.9	38.9	6.1	9.7	11.1	18.8	19.8	10.4	18.7	27.9	35.7	38.1	1.0	10.0
5	95	4	20.3	40.5	5.1	11.4	14.8	17.9	20.0	11.4	18.2	28.1	37.6	40.2	1.0	10.2
6	95	4	19.7	41.2	3.8	10.8	16.7	17.4	19.0	15.7	25.7	37.8	39.7	41.1	1.0	9.9
7	95	4	21.7	41.1	3.1	6.7	9.8	10.5	18.2	12.4	15.3	16.7	19.5	30.8	1.1	10.9
8	95	4	18.7	100.1	2.1	5.7	8.9	10.5	14.9	10.5	24.8	35.7	47.9	75.8	0.9	9.4
9	95	4	24.8	87.9	7.8	10.2	15.4	21.4	23.0	4.1	12.8	27.9	55.4	61.8	1.2	12.4
10	95	4	18.8	42.5	2.4	5.1	8.7	9.1	15.9	15.7	21.9	29.7	34.8	41.0	0.9	9.4
11	95	4	25.1	50.3	5.9	15.4	12.3	20.8	24.1	11.8	23.4	24.7	37.4	45.1	1.3	12.6
12	95	4	18.4	36.7	2.4	5.1	9.3	12.7	17.4	5.7	14.2	12.7	27.4	34.3	0.9	9.2
13	95	4	20.0	50.0	19.8	20.1	19.9	20.2	20.0	50.1	49.9	50.0	51.0	49.5	1.0	10.0

[表3]

No.	評価			備考
	絶縁皮膜の密着性	耐錆性	磁束密度	
			T	
1	優良	優良	1.931	発明例
2	優良	優良	1.925	発明例
3	優良	優良	1.920	発明例
4	優良	優良	1.921	発明例
5	良	良	1.920	発明例
6	良	良	1.915	発明例
7	不良	不良	1.905	比較例
8	不良	不良	1.908	比較例
9	不良	不良	1.901	比較例
10	不良	不良	1.895	比較例
11	不良	不良	1.887	比較例
12	不良	不良	1.884	比較例
13	不良	不良	1.880	比較例

[0050] 表1～表3から分かるように、式(1)～(4)を満足する溝を形成することにより、方向性電磁鋼板の耐錆性および絶縁皮膜密着性が向上することが確認された。また、式(3')及び(4')、(5)及び(6)、または、(5')及び(6')を満足する溝を形成することにより、更に耐錆性および絶縁皮膜密着性が向上した方向性電磁鋼板が得られた。

符号の説明

- [0051]
- 1 方向性電磁鋼板
 - 2 母材鋼板
 - 3 絶縁皮膜
 - G 溝
 - E 溝の端
 - D 溝の深さ (D1、D2、D3、D4、D5、Dcの総称)

W 溝の幅 (W 1、W 2、W 3、W 4、W 5、W c の総称)

I L 母材鋼板の表面を延長した仮想線

S 溝の間隔

R D 圧延方向

T D 板幅方向

N D 母材鋼板の板厚方向

産業上の利用可能性

[0052] 本発明によれば、鉄損の低減を目的とする溝を表面に形成した方向性電磁鋼板において、耐錆性および絶縁皮膜密着性を向上させることが可能である。そのため、本発明の方向性電磁鋼板を用いることで、鋼板を積層した際に層間電流が生じて鉄損が増大することや、外観不良を防止することが可能である。

請求の範囲

[請求項1]

母材鋼板と、
任意に、母材鋼板上に形成されたフォルステライト皮膜と、
前記母材鋼板上または前記フォルステライト皮膜上に形成された絶縁皮膜と、
を備え、
前記母材鋼板は、圧延方向と交差する方向に延在する溝を複数有し、
前記溝の延在する方向を溝長手方向とし、
前記溝の、前記母材鋼板の表面を延長した仮想線から前記母材鋼板の板厚方向に向かう直線の、前記仮想線から前記溝までの距離を、溝の深さとし、
前記溝の、前記圧延方向の幅を、溝の幅とし、
前記溝の深さが0.0 μm となる位置を、前記溝の端とし、前記溝の端から前記溝長手方向の中央部に向かって5 mmの領域を溝端部とし、
前記溝端部の前記溝長手方向の、単位 μm での、前記溝の端から1 mmの位置における溝の深さをD 1、溝の幅をW 1とし、前記溝の端から2 mmの位置における溝の深さをD 2、溝の幅をW 2とし、前記溝の端から3 mmの位置における溝の深さをD 3、溝の幅をW 3とし、前記溝の端から4 mmの位置における溝の深さをD 4、溝の幅をW 4とし、前記溝の端から5 mmの位置における溝の深さをD 5、溝の幅をW 5とし、
前記溝の、前記溝長手方向の中央部での溝の幅の平均をW c、溝の深さの平均をD cとしたとき、
前記D 1、前記D 2、前記D 3、前記D 4、前記D 5、前記W 1、前記W 2、前記W 3、前記W 4及び前記W 5が、下記式(1)及び下記式(2)を満足し、

前記溝端部において、前記溝の深さが $0.05 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅を $W_{0.05}$ 、前記溝の深さが $0.50 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅を $W_{0.50}$ とすると、 $W_{0.05}$ と $W_{0.50}$ とが下記式(3)及び下記式(4)を満たす、ことを特徴とする、方向性電磁鋼板。

$$D_5 \geq D_4 \geq D_3 \geq D_2 \geq D_1 \cdots (1)$$

$$W_5 \geq W_4 \geq W_3 \geq W_2 \geq W_1 \cdots (2)$$

$$0.004 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.210 \cdots (3)$$

$$0.180 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.810 \cdots (4)$$

[請求項2] 前記 $W_{0.05}$ と前記 $W_{0.50}$ が、下記式(5)及び式(6)を満たす、

ことを特徴とする、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。

$$0.008 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.160 \cdots (5)$$

$$0.380 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.710 \cdots (6)$$

[請求項3] 前記 D_1 、前記 D_2 、前記 D_3 、前記 D_4 、前記 D_5 が、下記式(1')を満足する、

ことを特徴とする、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。

$$D_5 > D_4 > D_3 > D_2 > D_1 \cdots (1')$$

[請求項4] 前記 D_1 、前記 D_2 、前記 D_3 、前記 D_4 、前記 D_5 が、下記式(1')を満足する、

ことを特徴とする、請求項2に記載の方向性電磁鋼板。

$$D_5 > D_4 > D_3 > D_2 > D_1 \cdots (1')$$

[請求項5] 前記 D_c が $5.0 \sim 40.0 \mu m$ であり、前記 W_c が $10.0 \sim 200.0 \mu m$ であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項6] 複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ $2 \sim 10 mm$ であり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が $60 \sim 120$ 度である、

ことを特徴とする、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項7] 複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ 2 ～ 10 mm であり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が 60 ～ 120 度である、

ことを特徴とする、請求項 5 に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項8] 鋼板に対し、圧延方向と交差する方向に走査しながらレーザを照射して前記圧延方向に延在する溝を形成する溝形成工程と、

前記溝形成工程後の前記鋼板に脱炭焼鈍を行う脱炭焼鈍工程と、

前記脱炭焼鈍工程後の前記鋼板に仕上げ焼鈍を行う仕上げ焼鈍工程と、

母材鋼板となる前記仕上げ焼鈍工程後の前記鋼板に対し、絶縁皮膜を形成する処理を行って、前記母材鋼板と、前記母材鋼板上に任意に形成されたフォルステライト皮膜と、前記母材鋼板上または前記フォルステライト皮膜上に形成された前記絶縁皮膜とを有する方向性電磁鋼板を得る、絶縁皮膜形成工程と、

を備え、

前記溝形成工程では、

前記溝の延在する方向を溝長手方向とし、

前記溝の、前記母材鋼板の表面を延長した仮想線から前記母材鋼板の板厚方向に向かう直線の、前記仮想線から前記溝までの距離を、溝の深さとし、

前記溝の、前記圧延方向の幅を、溝の幅とし、

前記溝の深さが 0.0 μm となる位置を、前記溝の端とし、前記溝の端から前記溝長手方向の中央部に向かって 5 mm の領域を溝端部とし、

前記溝端部の前記溝長手方向の、単位 μm での、前記溝の端から 1 mm の位置における溝の深さを D1、溝の幅を W1 とし、前記溝の

端から 2 mm の位置における溝の深さを D_2 、溝の幅を W_2 とし、前記溝の端から 3 mm の位置における溝の深さを D_3 、溝の幅を W_3 とし、前記溝の端から 4 mm の位置における溝の深さを D_4 、溝の幅を W_4 とし、前記溝の端から 5 mm の位置における溝の深さを D_5 、溝の幅を W_5 とし、

前記溝の、前記溝長手方向の中央部での溝の幅の平均を W_c 、溝の深さの平均を D_c としたとき、

前記溝端部において、前記溝の端からの距離に応じて、レーザの焦点と前記母材鋼板の表面との距離を変化させることで、前記 D_1 、前記 D_2 、前記 D_3 、前記 D_4 、前記 D_5 、前記 W_1 、前記 W_2 、前記 W_3 、前記 W_4 及び前記 W_5 が、下記式 (1) 及び下記式 (2) を満足するように、かつ、

前記溝端部において、前記溝の深さが $0.05 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅を $W_{0.05}$ 、前記溝の深さが $0.50 \times D_c$ となる部分の前記溝の幅を $W_{0.50}$ とするとき、 $W_{0.05}$ と $W_{0.50}$ とが下記式 (3) 及び下記式 (4) を満たすように、

前記レーザを照射して、前記溝を形成する、
ことを特徴とする、方向性電磁鋼板の製造方法。

$$D_5 \geq D_4 \geq D_3 \geq D_2 \geq D_1 \cdots (1)$$

$$W_5 \geq W_4 \geq W_3 \geq W_2 \geq W_1 \cdots (2)$$

$$0.004 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.210 \cdots (3)$$

$$0.180 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.810 \cdots (4)$$

[請求項9] 前記溝形成工程では、前記 $W_{0.05}$ と前記 $W_{0.50}$ とが、下記式 (5) 及び式 (6) を満たすように前記溝を形成する、
ことを特徴とする、請求項 8 に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

$$0.008 \leq W_{0.05} / W_c \leq 0.160 \cdots (5)$$

$$0.380 \leq W_{0.50} / W_c \leq 0.710 \cdots (6)$$

[請求項10] 前記溝形成工程では、前記レーザの照射条件として、前記レーザの

出力を200～3000W、前記レーザの前記圧延方向における前記出力の86%を含む直径である集光スポット径を10～1000 μ m、前記レーザの板幅方向における前記集光スポット径を10～1000 μ m、走査速度を2～50m/sとし、

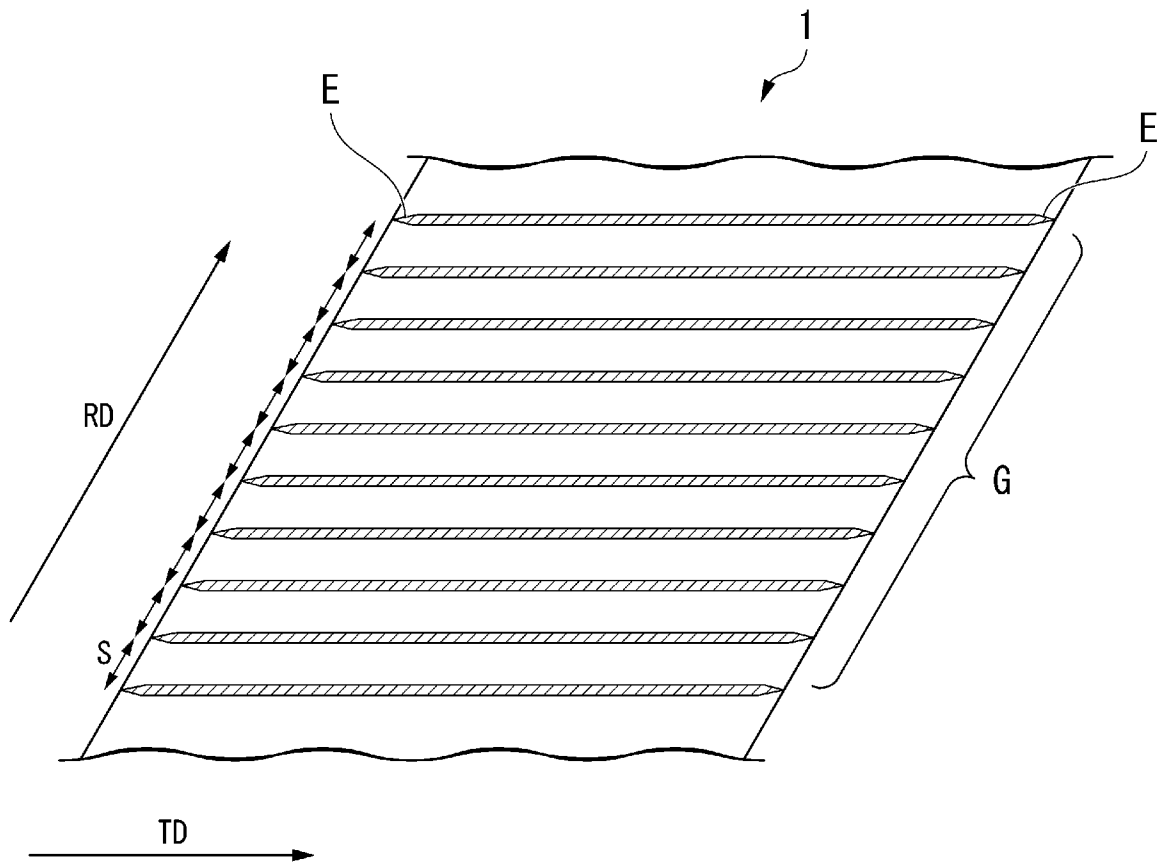
前記Dcが5.0～40.0 μ m、前記Wcが10.0～200.0 μ mとなる前記溝を形成する、

ことを特徴とする、請求項8または9に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

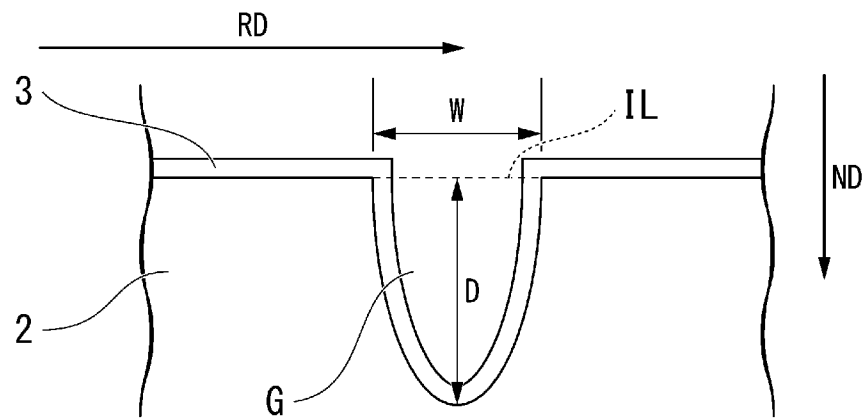
[請求項11] 前記溝形成工程では、複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ2～10mmであり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が60～120度となるように、前記溝を形成する、
ことを特徴とする、請求項8または9に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項12] 前記溝形成工程では、複数の前記溝の、前記圧延方向の間隔がそれぞれ2～10mmであり、前記溝長手方向と前記圧延方向とのなす角が60～120度となるように、前記溝を形成する、
ことを特徴とする、請求項10に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

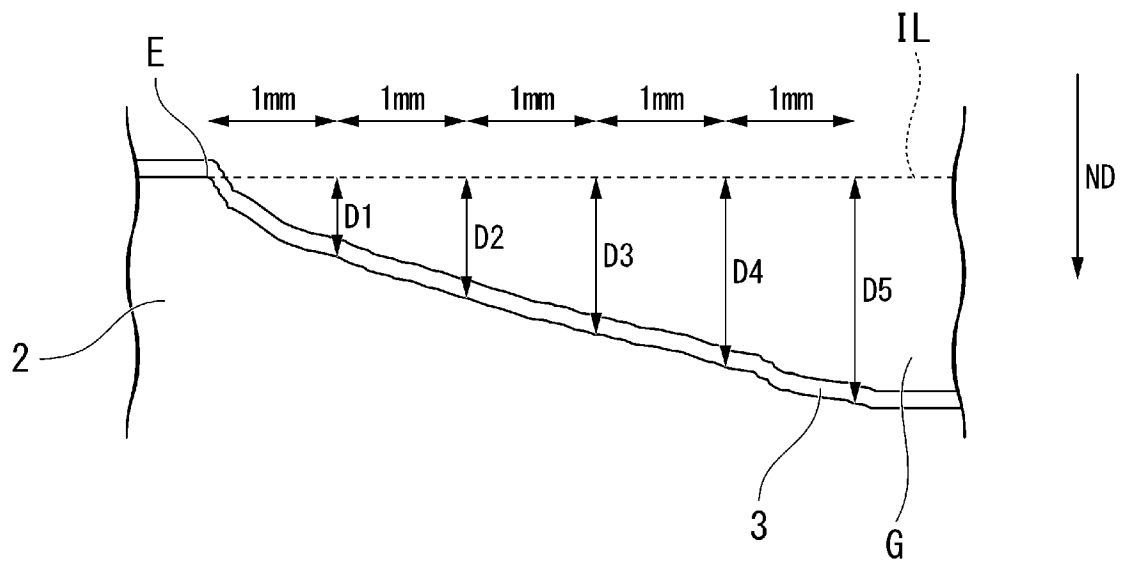
[図1]



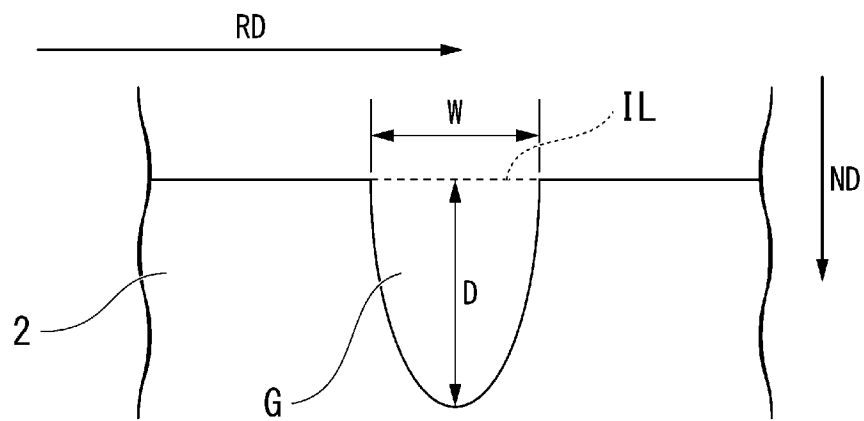
[図2A]



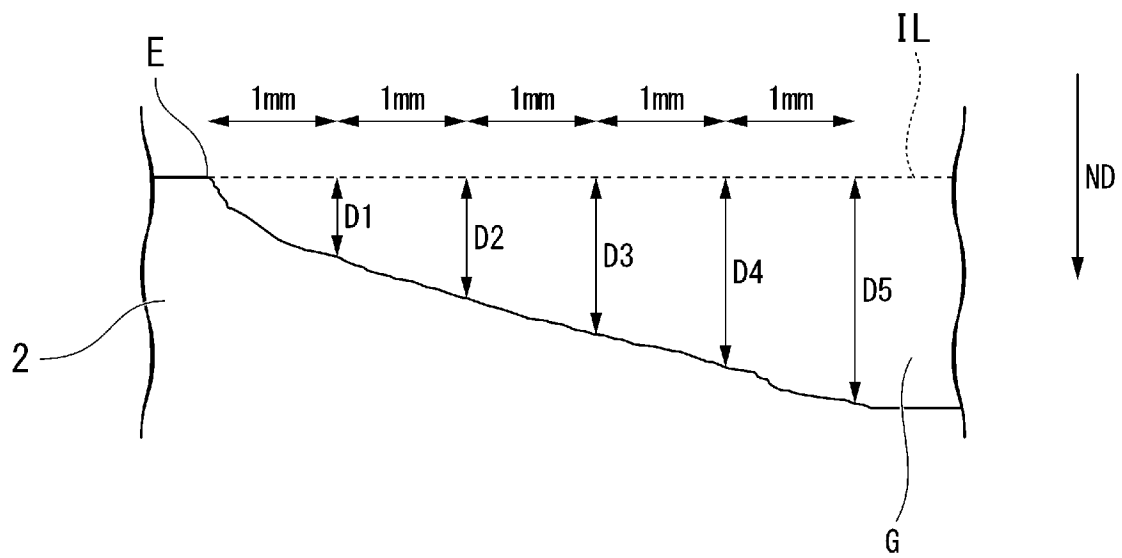
[図2B]



[図3A]



[図3B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/024295

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER C22C 38/00 (2006.01)i; C21D 8/12 (2006.01)i; C21D 9/46 (2006.01)i; C22C 38/60 (2006.01)i; C23C 22/00 (2006.01)i; H01F 1/147 (2006.01)i FI: C22C38/00 303U; C21D8/12 D; C21D9/46 501B; C23C22/00 B; H01F1/147 183; C22C38/60 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) C22C38/00-38/60; C21D8/12; C21D9/46; H01F 1/147 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	WO 2016/171129 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 27 October 2016 (2016-10-27)	1-12
A	WO 2016/171117 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 27 October 2016 (2016-10-27)	1-12
A	WO 2016/171124 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 27 October 2016 (2016-10-27)	1-12
A	JP 2022-503782 A (POSCO) 12 January 2022 (2022-01-12)	1-12
P, A	WO 2024/111630 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 30 May 2024 (2024-05-30)	1-12
☐ 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 11 September 2024		Date of mailing of the international search report 24 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/JP2024/024295

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2016/171129	A1	27 October 2016	US	2018/0036838	A1	
				EP	3287532	A1	
				KR	10-2017-0122819	A	
				CN	107406903	A	
				BR	112017019141	A2	
				RU	2678351	C1	
				PL	3287532	T3	
WO	2016/171117	A1	27 October 2016	US	2018/0043474	A1	
				EP	3287537	A1	
				CN	107208223	A	
				KR	10-2017-0100006	A	
				BR	112017016967	A2	
				RU	2682267	C1	
				PL	3287537	T3	
WO	2016/171124	A1	27 October 2016	US	2018/0066334	A1	
				EP	3287538	A1	
				KR	10-2017-0107084	A	
				CN	107406935	A	
				BR	112017018677	A2	
				RU	2682363	C1	
				PL	3287538	T3	
JP	2022-503782	A	12 January 2022	US	2022/0119901	A1	
				WO	2020/059999	A1	
				EP	3855458	A1	
				KR	10-2020-0034378	A	
				CN	113039622	A	
WO	2024/111630	A1	30 May 2024	(Family: none)			

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; C21D 9/46(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i;
C23C 22/00(2006.01)i; H01F 1/147(2006.01)i
FI: C22C38/00 303U; C21D8/12 D; C21D9/46 501B; C23C22/00 B; H01F1/147 183; C22C38/60

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））
C22C38/00-38/60; C21D8/12; C21D9/46; H01F 1/147
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	WO 2016/171129 A1（新日鐵住金株式会社） 27.10.2016（2016-10-27）	1-12
A	WO 2016/171117 A1（新日鐵住金株式会社） 27.10.2016（2016-10-27）	1-12
A	WO 2016/171124 A1（新日鐵住金株式会社） 27.10.2016（2016-10-27）	1-12
A	JP 2022-503782 A（ポスコ） 12.01.2022（2022-01-12）	1-12
P, A	WO 2024/111630 A1（日本製鉄株式会社） 30.05.2024（2024-05-30）	1-12

☐ 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
11.09.2024

国際調査報告の発送日
24.09.2024

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）

川口 由紀子 4K 5798

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/JP2024/024295

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2016/171129	A1	27.10.2016	US	2018/0036838	A1	
				EP	3287532	A1	
				KR	10-2017-0122819	A	
				CN	107406903	A	
				BR	112017019141	A2	
				RU	2678351	C1	
				PL	3287532	T3	

WO	2016/171117	A1	27.10.2016	US	2018/0043474	A1	
				EP	3287537	A1	
				CN	107208223	A	
				KR	10-2017-0100006	A	
				BR	112017016967	A2	
				RU	2682267	C1	
				PL	3287537	T3	

WO	2016/171124	A1	27.10.2016	US	2018/0066334	A1	
				EP	3287538	A1	
				KR	10-2017-0107084	A	
				CN	107406935	A	
				BR	112017018677	A2	
				RU	2682363	C1	
				PL	3287538	T3	

JP	2022-503782	A	12.01.2022	US	2022/0119901	A1	
				WO	2020/059999	A1	
				EP	3855458	A1	
				KR	10-2020-0034378	A	
				CN	113039622	A	

WO	2024/111630	A1	30.05.2024	(ファミリーなし)			
