(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
2016 年 10 月 27 日(27.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/171117 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) *C25F 1/00* (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) *H01F 1/16* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/062339

(22) 国際出願日: 2016 年 4 月 19 日(19.04.2016)

(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 2015-086301 2015 年 4 月 20 日(20.04.2015) JP

(71) 出願人: 新日鐵住金株式会社(NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL 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: 濱村　秀行(HAMAMURA Hideyuki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 坂井　辰彦(SAKAI Tatsuhiko); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 高橋　史明(TAKAHASHI Fumiaki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 茂木　尚(MOGI Hisashi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 奥村　俊介(OKUMURA Shunsuke); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 今井　浩文(IMAI Hirofumi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 志賀　正武, 外(SHIGA Masatake 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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

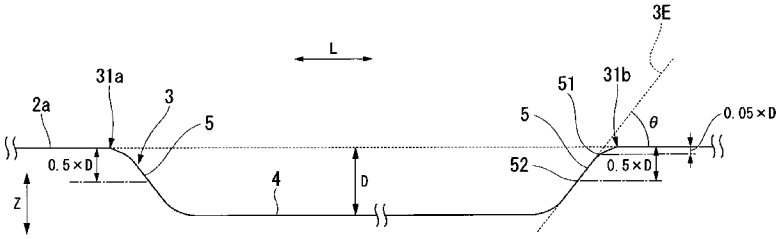
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, 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:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET

(54) 発明の名称 : 方向性電磁鋼板



(57) **Abstract**: This oriented electromagnetic steel sheet is provided with a steel sheet having a surface which has, formed therein, grooves which extend in a direction intersecting the rolling direction, and which have a depth direction that becomes the sheet thickness direction. When the groove average depth D is defined as the average value of the depths of the grooves in the sheet thickness direction at central sections of the grooves in the groove longitudinal direction, a groove-end straight line is defined as a straight line linking a first point in a groove inclined section at which the groove depth in the sheet thickness direction is 0.05×D, and a second point at which the groove depth is 0.50×D, a first angle θ is defined as the angle formed between the surface of the steel sheet and the groove-end straight line, and the average groove width W is defined as the average value of the lengths of the grooves in the width direction, i.e. the lengths of line segments each linking two points in the groove outline appearing in a cross section of the groove in the width direction, said two points being where the groove depth in the sheet thickness direction is 0.05×D, the aspect ratio A obtained by dividing the groove average depth D by the average groove width W, and the first angle θ satisfy formula (1), namely $\theta<-21\times A+77$.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/171117 A1

圧延方向と交差する方向に延在しかつ溝深さ方向が板厚方向となる溝が形成された鋼板表面を有する鋼板を備える方向性電磁鋼板であって、溝の溝長手方向中央部での板厚方向の溝深さの平均値を溝平均深さＤとし、溝の傾斜部にて板厚方向の溝深さが０．０５×Ｄとなる第一点と０．５０×Ｄとなる第二点とを結ぶ直線を溝端直線とし、鋼板表面と溝端直線とが成す角度を第一角度θとし、溝幅方向断面に現れる溝の輪郭において板厚方向の溝深さが０．０５×Ｄとなる２つの点を結ぶ線分の長さである溝幅方向長さの平均値を平均溝幅Ｗとしたとき、溝平均深さＤを平均溝幅Ｗで除したアスペクト比Ａと前記第一角度θとが、下記（１）式を満足する。　θ＜－２１×Ａ＋７７　…（１）

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、２０１５年４月２０日に日本に出願された特願２０１５－０８６３０１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] 従来から、変圧器の鉄芯（コア）用の鋼板として、特定の方向に優れた磁気特性を発揮する方向性電磁鋼板が知られている。この方向性電磁鋼板は、冷間圧延処理と焼鈍処理との組み合わせによって、結晶粒の磁化容易軸と圧延方向とが一致するように結晶方位が制御された鋼板である。方向性電磁鋼板の鉄損は可能な限り低いことが望ましい。

[0003] 鉄損は、渦電流損とヒステリシス損とに分類される。さらに、渦電流損は、古典的渦電流損と異常渦電流損とに分類される。古典的渦電流損を低減するために、上記のように結晶方位が制御された鋼板（地鉄）の表面に絶縁皮膜が形成された方向性電磁鋼板が一般的に知られている。この絶縁皮膜は、電気的絶縁性だけでなく、張力及び耐熱性等を鋼板に与える役割も担っている。なお、近年では、鋼板と絶縁皮膜との間にグラス皮膜が形成された方向性電磁鋼板も知られている。

[0004] 一方、異常渦電流損を低減するための方法として、圧延方向に交差する方向に延びる歪みや溝を、圧延方向に沿って所定間隔で形成することにより、１８０°磁区の幅を狭くする（１８０°磁区の細分化を行う）磁区制御法が知られている。この磁区制御法は、非破壊的な手段によって歪みを方向性電磁鋼板の鋼板に与える非破壊的磁区制御法と、例えば鋼板の表面に溝を形成するなどの破壊的磁区制御法とに分類される。

[0005] 方向性電磁鋼板を用いて変圧器用の巻コアを製造する場合、方向性電磁鋼板がコイル状に巻かれることに起因して生じる変形歪みを除去するために、

歪み取り焼鈍処理を実施する必要がある。非破壊的磁区制御法によって歪みが付与された方向性電磁鋼板を用いて巻コアを製造する場合、歪み取り焼鈍処理の実施によって歪みが消失するので、磁区細分化効果（つまり異常渦電流損の低減効果）も消失する。

[0006] 一方、破壊的磁区制御法によって溝が付与された方向性電磁鋼板を用いて巻コアを製造する場合、歪み取り焼鈍処理の実施によって溝が消失しないので、磁区細分化効果を維持することができる。従って、巻きコアに対しては、異常渦電流損を低減するための方法として破壊的磁区制御法が一般的に採用されている。

[0007] 例えば、特許文献１に開示されるように、レーザ照射により鋼板に歪みを与える方法が実用されている。一方、方向性電磁鋼板の圧延方向に略垂直、且つ圧延方向に一定周期で１０～３０μｍ程度の深さの溝を形成すると、鉄損が低減される。これは、溝の空隙での透磁率の変化により溝周辺に磁極が発生し、この磁極を源に１８０°磁壁の間隔が狭くなり、鉄損が改善されるためである。

[0008] 電磁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（下記特許文献２参照）、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（下記特許文献３参照）、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るレーザ照射法（下記特許文献４参照）が挙げられる。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：日本国特公昭５８－２６４０６号公報

特許文献2：日本国特公昭６２－５４８７３号公報

特許文献3：日本国特公昭６２－５３５７９号公報

特許文献4：日本国特開２００３－１２９１３５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 上記従来の方法を用いて、圧延方向に略垂直な深さ１０～３０μｍ程度の溝を形成する場合、電磁鋼板の表面（溝が形成される面）における溝の端部（溝端）の形状を均一に保つことが難しく、溝の端部の形状の変化が大きくなる傾向がある。その結果、溝形成後に、鋼板表面に電気絶縁性を与えるためのコーティングを行う際、溝の端部の隅々までコート剤を塗布し難い。また、溝の端部の形状が変化に富むために溝の端部におけるコート剤の密着性も十分でない箇所が生じる。その結果、溝の端部が十分にコーティングされず、溝が外部に露出し、錆が発生する原因となっていた。さらに、レーザ法を用いて溝加工を行う場合は、形成された溝端部に表面突起が発生しやすいという問題がある。例えば、錆が発生するとその周辺の皮膜が剥離し、層間電流が著しく流れた場合には鉄損が増大する可能性がある。さらに万が一、錆びによって鋼板が浸食した場合は非磁性部が広がり、最適な磁区細分化条件が保たれないこともあり得る。

[0011] 本発明は、上記課題に鑑みてなされ、鉄損を大きく改善させるための溝を有しながら、溝端部における絶縁皮膜等の密着性及び耐錆性の向上を具備す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

[0012] 本発明の要旨は以下の通りである。

（１）圧延方向と交差する方向に延在しかつ溝深さ方向が板厚方向となる溝が形成された鋼板表面を有する鋼板を備える方向性電磁鋼板において、前記溝は、前記溝の延在する方向である溝長手方向の溝端部には、前記鋼板表面から前記溝の底部に向かって傾斜する傾斜部を有し、前記溝長手方向の中央部での前記鋼板表面の高さから前記板厚方向の前記溝の深さの平均値を単位μｍで溝平均深さＤとし、前記傾斜部にて、前記鋼板表面の高さからの前記板厚方向の前記溝の深さが０．０５×Ｄとなる第一点と、前記鋼板表面の高さからの前記板厚方向の前記溝の深さが０．５０×Ｄとなる第二点とを結ぶ直線を溝端直線とし、前記鋼板表面と前記溝端直線とが成す角度を単位°で

第一角度θとし、前記溝の前記中央部で前記溝長手方向に直交する溝幅方向断面で前記溝を見た場合に、前記溝幅方向断面の前記溝の輪郭にて前記鋼板表面の高さから前記板厚方向の前記溝の深さが０．０５×Ｄとなる２つの点を結ぶ線分の長さである溝幅方向長さの平均値を単位μｍで前記溝の平均溝幅Ｗとしたとき、前記溝平均深さＤを前記平均溝幅Ｗで除したアスペクト比Ａと前記第一角度θとが下記（１）式を満足する。

$$\theta < -21 \times A + 77 \quad \cdots (1)$$

[0013] （２） 上記（１）に記載の方向性電磁鋼板において、さらに前記アスペクト比Ａと前記第一角度θとが、下記（２）式を満足してもよい。

$$\theta < 32 \times A^2 - 55 \times A + 73 \quad \cdots (2)$$

[0014] （３） 上記（１）または（２）に記載の方向性電磁鋼板において、前記溝平均深さＤが１５μｍ以上３０μｍ以下のとき、前記第一角度θと、前記溝平均深さＤと、前記平均溝幅Ｗとが、下記（３）式を満足してもよい。

$$\theta \leqq 0.12 \times W - 0.45 \times D + 57.39 \quad \cdots (3)$$

[0015] （４） 上記（１）または（２）に記載の方向性電磁鋼板において、前記平均溝幅Ｗが３０μｍ以上１００μｍ以下のとき、前記第一角度θと、前記溝平均深さＤと、前記平均溝幅Ｗとが、下記（４）式を満足してもよい。

$$\theta \leqq -0.37 \times D + 0.12 \times W + 55.39 \quad \cdots (4)$$

[0016] （５） 上記（１）～（４）のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板において、前記鋼板では前記溝に接する結晶粒の粒径が５μｍ以上であってもよい。

[0017] （６）上記（１）～（５）のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板において、前記溝平均深さＤが、１０μｍ以上５０μｍ以下であってもよい。

発明の効果

[0018] 本発明の上記態様によれば、磁区細分化のために鋼板の表面に溝が形成された方向性電磁鋼板の耐錆性を向上させることが可能である。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の一実施形態に係る方向性電磁鋼板の鋼板表面に形成される溝を

示す模式図である。

[図2]図１のＡ－Ａ線における溝の断面形状を示す図である。

[図3]図１に示すＢ－Ｂ線における溝の断面形状を示す図である。

[図4]溝の輪郭の定義に関する説明図である。

[図5]溝の溝長手方向の断面形状を示す図である。

[図6]第一角度の定義に関する説明図である。

[図7]第一角度の定義に関する説明図である。

[図8]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造プロセスを示すフローチャートである。

[図9]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造プロセスの溝加工工程におけるレーザ照射に関する説明図である。

[図10]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造プロセスの溝加工工程におけるレーザ照射に関する説明図である。

[図11]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造プロセスの溝加工工程におけるレーザ照射に関する説明図である。

[図12]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の製造プロセスの溝加工工程におけるレーザ照射に関する説明図である。

[図13]本実施形態におけるレーザ法による溝加工工程においてレーザビーム照射の出力と時間との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。ただし、本発明は本実施形態に開示の構成のみに限定されることなく、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。ただし、下限値に「超」と示す数値限定範囲には下限値が含まれず、上限値に「未満」と示す数値限定範囲には上限値が含まれない。

[0021] 以下、図面を参照して本発明の好適な実施形態について説明する。

[0022] 図１は、本実施形態に係る方向性電磁鋼板１の平面図である。図２は、図

１のＡ－Ａ線における矢視断面図である。図３は、図１のＢ－Ｂ線における矢視断面図である。なお、図１から図３において、方向性電磁鋼板１の圧延方向をＸ、方向性電磁鋼板１の板幅方向（同一平面内で圧延方向に直交する方向）をＹ、方向性電磁鋼板１の板厚方向（ＸＹ平面に直交する方向）をＺと定義する。

図１は、本実施形態に係る方向性電磁鋼板１を板厚方向Ｚから見たとき（以下、「平面視」と記載する場合がある）の溝３を示す模式図である。実際の方向性電磁鋼板の鋼板表面２ａ及び溝３は、表面が均一に形成されるものではないが、発明の特徴を説明するために図１から図３、図５から図８及び図１９では模式的に示している。また、溝３は、板厚方向Ｚから見た場合（溝３を平面視した場合）に、弓状の形状を有してもよい。ただし、本実施形態では、説明の便宜上、直線形状を有する溝３を例示する。

[0023] 方向性電磁鋼板１は、冷間圧延処理と焼鈍処理との組み合わせによって結晶粒の磁化容易軸と圧延方向Ｘとが一致するように結晶方位が制御された鋼板（地鉄）２を備え、鋼板２の表面（鋼板表面２ａ）に溝３を有する。

[0024] 鋼板２は、化学成分として、質量分率で、Ｓｉ：０．８％～７％、Ｃ：０％超～０．０８５％、酸可溶性Ａｌ：０％～０．０６５％、Ｎ：０％～０．０１２％、Ｍｎ：０％～１％、Ｃｒ：０％～０．３％、Ｃｕ：０％～０．４％、Ｐ：０％～０．５％、Ｓｎ：０％～０．３％、Ｓｂ：０％～０．３％、Ｎｉ：０％～１％、Ｓ：０％～０．０１５％、Ｓｅ：０％～０．０１５％、を含有し、残部がＦｅ及び不純物からなる。

[0025] 上記の鋼板２の化学成分は、結晶方位を｛１１０｝＜００１＞方位に集積させた後、すなわち、Ｇｏｓｓ集合組織に制御後の好ましい化学成分である。上記元素のうち、ＳｉおよびＣが基本元素であり、酸可溶性Ａｌ、Ｎ、Ｍｎ、Ｃｒ、Ｃｕ、Ｐ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｎｉ、Ｓ、およびＳｅが選択元素である。上記の選択元素は、その目的に応じて含有させればよいので下限値を制限する必要がなく、下限値が０％でもよい。また、これらの選択元素が不純物として含有されても、本実施形態の効果は損なわれない。上記の鋼板２は、

上記の基本元素および選択元素の残部がＦｅ及び不純物からなってもよい。なお、不純物とは、鋼板２を工業的に製造する際に、原料としての鉱石、スクラップ、または製造環境等から不可避的に混入する元素を意味する。

また、電磁鋼板では二次再結晶時に純化焼鈍を経ることが一般的である。純化焼鈍においてはインヒビター形成元素の系外への排出が起きる。特にＮ、Ｓについては濃度の低下が顕著で、５０ｐｐｍ以下になる。通常の純化焼鈍条件であれば、９ｐｐｍ以下、さらには６ｐｐｍ以下、純化焼鈍を十分に行えば、一般的な分析では検出できない程度（１ｐｐｍ以下）にまで達する。

[0026] 上記鋼板２の化学成分は、鋼の一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、鋼板２の化学成分は、ＩＣＰ－ＡＥＳ（Ｉｎｄｕｃｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ－Ａｔｏｍｉｃ Ｅｍｉｓｓｉｏｎ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）を用いて測定すればよい。具体的には、皮膜除去後の鋼板２の中央の位置から３５ｍｍ角の試験片を採取し、ＩＣＰ発光分析装置（例えば、株式会社島津製作所製 ＩＣＰＳ－８１００）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特定できる。なお、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。

[0027] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板１は、鋼板表面２ａに、磁区細分化のための溝３を有し、溝３及び鋼板表面２ａ上に絶縁皮膜(不図示)を有してもよい。

[0028] さらに、鋼板表面２ａと絶縁皮膜との間にはグラス皮膜(不図示)を備えてもよい。グラス皮膜は、例えば、フォルステライト（Mg_2SiO_4）、スピネル（$MgAl_2O_4$）及びコーディエライト（$Mg_2Al_4Si_5O_{16}$）などの複合酸化物によって構成されている。詳細は後述するが、グラス皮膜は、方向性電磁鋼板１の製造プロセスの１つである仕上焼鈍工程において、鋼板２に焼き付きが発生することを防止するために形成される皮膜である。従って、グラス皮膜は、方向性電磁鋼板１の構成要素として必須の要素ではない

。絶縁皮膜は、例えば、コロイダルシリカ及びリン酸塩を含有し、電気的絶縁性だけでなく、張力、耐食性及び耐熱性等を鋼板２に与える役割を担っている。

[0029] なお、方向性電磁鋼板１のグラス皮膜および絶縁皮膜は、例えば、次の方法によって除去することができる。グラス皮膜または絶縁皮膜を有する方向性電磁鋼板１を、ＮａＯＨ：１０質量％＋H_2O：９０質量％の水酸化ナトリウム水溶液に、８０℃で１５分間浸漬する。次いで、H_2SO_4：１０質量％＋H_2O：９０質量％の硫酸水溶液に、８０℃で３分間、浸漬する。その後、HNO_3：１０質量％＋H_2O：９０質量％の硝酸水溶液によって、常温で１分間弱浸漬して洗浄する。最後に、温風のブロアーで１分間弱乾燥させる。なお、上記の方法によって方向性電磁鋼板１からグラス皮膜または絶縁皮膜を除去した場合、鋼板２の溝３の形状や粗さは、グラス皮膜または絶縁皮膜を形成する前と同等であることが確認されている。

[0030] 溝３は、図１及び図２に示すように、圧延方向Ｘと交差する方向Ｌに延在し、かつ、深さ方向が板厚方向Ｚとなるように形成されている。図２に示すように、溝３は、方向Ｌにおける両端部において、深さが鋼板表面２ａから溝３の底部４に向かって深くなるように傾斜する傾斜部５が形成されている。溝３の詳細な形状については後述する。

[0031] 以下の説明における用語を定義する。図１に示すように、板厚方向Ｚから溝３を見た場合（溝３を平面視した場合）に、溝３の延在方向（図１に示す矢印Ｌ）を溝長手方向Ｌという。また、溝３を平面視した場合に、溝３の溝長手方向Ｌに直交する方向（図１に示す矢印Ｑ）を溝幅方向Ｑという。

[0032]（溝平均深さＤ）

溝３の深さとは、鋼板表面２ａの高さから溝３の表面（底部４）までの板厚方向Ｚの長さをいう。溝平均深さＤは以下のように測定すればよい。板厚方向Ｚから溝３を見た場合（溝３を平面視した場合）に、観察範囲を溝３の一部に設定する。観察範囲は、溝３の溝長手方向Ｌにおける端部を除く領域（すなわち、溝底の形状が安定している領域）に設定することが望ましい。

例えば、観察範囲は、溝長手方向Ｌの略中央部で、溝長手方向Ｌの長さが３０μｍ～３００μｍ程度となるような観察領域とすればよい。次に、レーザ顕微鏡を用いて観察範囲内の高さ分布（溝深さ分布）を得て、この観察範囲内での最大溝深さを求める。同様の測定を、観察範囲を変えて少なくとも３領域以上、より好ましくは１０領域にて行う。そして、各観察領域における最大溝深さの平均値を算出し、これが溝平均深さＤと定義される。本実施形態における溝３の溝平均深さＤは、磁区細分化の効果を好ましく得るために、例えば、５μｍ以上１００μｍ以下であることが好ましく、１０μｍ超４０μｍ以下であるとさらに好ましい。

なお、鋼板表面２ａと溝３の表面との間の距離を測定するためには、板厚方向Ｚにおける鋼板表面２ａの位置（高さ）を予め測定しておく必要がある。例えば、各観察範囲内の鋼板表面２ａにおける複数箇所のそれぞれについて、レーザ顕微鏡を用いて板厚方向Ｚの位置（高さ）を測定し、それらの測定結果の平均値を鋼板表面２ａの高さとして利用してもよい。また、本実施形態では、後述のように溝平均幅Ｗを測定する際に溝短手断面を使用するので、この溝短手断面から鋼板表面２ａを測定してもよい。なお、レーザ顕微鏡にて鋼板サンプルを観察する際には、この鋼板サンプルの２つの板面（観察面およびその裏面）が略平行であることが好ましい。

[0033]（平均溝幅Ｗ）

溝３の幅とは、溝長手方向Ｌに直交する断面（溝幅方向断面あるいは溝短手断面）で溝３を見た場合の溝短手方向Ｑの溝開口部の長さをいう。平均溝幅Ｗは以下のように測定すればよい。溝平均深さＤと同様に、板厚方向Ｚから溝３を見た場合（溝３を平面視した場合）に、観察範囲を溝３の一部に設定する。観察範囲は、溝３の溝長手方向Ｌにおける端部を除く領域（すなわち、溝底の形状が安定している領域）に設定することが望ましい。

例えば、観察範囲は、溝長手方向Ｌの略中央部で、溝長手方向の長さが３０μｍ～３００μｍ程度となるような観察領域とすればよい。次に、レーザ顕微鏡を用いて観察範囲内の任意の１カ所（例えば、観察領域内での最大溝

深さの位置）にて、溝長手方向Ｌに直交する溝短手断面を得る。この溝短手断面に現れる鋼板表面２ａおよび溝３の輪郭曲線から溝開口部の長さを求める。

[0034] 具体的には、上記溝短手断面に現れる鋼板表面２ａおよび溝３の輪郭を成す測定断面曲線ＭＣＬに低域フィルタ（カットオフ値λｓ）を適用して断面曲線を得た後、その断面曲線に帯域フィルタ（カットオフ値λｆ、λｃ）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３に示すように、溝短手断面での溝３の輪郭を成すうねり曲線ＷＷＣ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。

[0035] 図３に示すように、溝短手断面での溝３のうねり曲線ＷＷＣ上で、鋼板表面２ａから板厚方向Ｚに沿って溝３の表面までの深さが、溝３の溝平均深さＤに対し０．０５×Ｄとなる２つの点（第三点３３、第四点３４）間を結ぶ線分の長さ（溝開口部）W_nを求める。

同様の測定を、観察範囲を変えて少なくとも３領域以上、より好ましくは１０領域にて行う。そして、各観察領域における溝開口部の平均値を算出し、これが平均溝幅Ｗと定義される。本実施形態における溝３の平均溝幅Ｗは、磁区細分化の効果を好ましく得るために、例えば１０μｍ以上２５０μｍ以下であることが好ましい。

なお、鋼板表面２ａから０．０５×Ｄとなる深さを測定するためには、板厚方向Ｚにおける鋼板表面２ａの位置（高さ）を予め測定しておく必要がある。例えば、各溝短手断面内のうねり曲線上の鋼板表面２ａにおける複数箇所のそれぞれについて、板厚方向Ｚの位置（高さ）を測定し、それらの測定結果の平均値を鋼板表面２ａの高さとして利用してもよい。

[0036]（第一角度θ）

溝３の第一角度θとは、鋼板表面２ａと溝３の端部とが成す角度をいう。第一角度θは以下のように測定すればよい。板厚方向Ｚから溝３を見た場合（溝３を平面視した場合）に、観察範囲を溝３の溝長手方向Ｌの端部を含む

一部に設定する。板厚方向Ｚから溝３を平面視し、溝長手方向Ｌに沿って複数（ｎ本）の仮想線$Ｌ_{1}$～$Ｌ_{n}$を観察範囲内に仮想的に設定する（図６参照）。観察範囲は、溝３の端部を含む領域（すなわち、溝３の溝長手方向Ｌの始まりから溝底の形状が安定している領域までを含む領域）に設定することが望ましい。次に、レーザ顕微鏡（レーザ式表面粗さ測定器）等を用いて、観察範囲内の溝３の高さ分布（溝深さ分布）を仮想線$Ｌ_{1}$に沿って測定すると、図４に示すように、溝３の端部の溝長手方向Ｌの輪郭を成す測定断面曲線ＭＣＬ１が仮想線Ｌ１に沿う形で得られる。

[0037] 上記のように仮想線Ｌ１について得られた測定断面曲線ＭＣＬ１に低域フィルタ（カットオフ値λｓ）を適用して断面曲線を得た後、その断面曲線に帯域フィルタ（カットオフ値λｆ、λｃ）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５に示すように、溝３の端部の溝長手方向Ｌの輪郭を成すうねり曲線ＬＷＣ１が仮想線Ｌ１に沿う形で得られる。

[0038] 図５に示すように、うねり曲線ＬＷＣ１を用い、仮想線Ｌ１に沿う複数（ｎ個）の位置のそれぞれにおいて、鋼板表面２ａと溝３の輪郭（つまりうねり曲線ＬＷＣ１）との間の板厚方向Ｚの距離（深さｄ１～ｄｎ：単位はμｍ）が得られる。さらに、これらの深さｄ１～ｄｎの平均値（溝深さＤ１）が得られる。同様な測定手法によって、他の仮想線Ｌ２～Ｌｎのそれぞれについても、溝端部の溝深さＤ２～Ｄｎが得られる。

なお、鋼板表面２ａからの深さｄ１～ｄｎを測定するためには、板厚方向Ｚにおける鋼板表面２ａの位置（高さ）を予め測定しておく必要がある。例えば、観察範囲内の鋼板表面２ａにおける複数箇所のそれぞれについて、レーザ顕微鏡を用いて板厚方向Ｚの位置（高さ）を測定し、それらの測定結果の平均値を鋼板表面２ａの高さとして利用してもよい。

[0039] 本実施形態では、上記の仮想線Ｌ１～Ｌｎのうち、溝長手方向Ｌに沿い且つ溝３の平均深さが最大になるという条件を満足する仮想線を溝基準線ＢＬとして選択する。例えば、図６に示す仮想線Ｌ１～Ｌｎのそれぞれについて

得られた溝深さＤ１～Ｄｎのうち、溝深さＤ２が最大である場合、仮想線Ｌ２が溝基準線ＢＬと定義される。

[0040] 図７に示すように、溝基準線ＢＬに基づくうねり曲線上で、鋼板表面２ａから板厚方向Ｚに向かって深さが０．０５×Ｄとなる第一点５１と、鋼板表面２ａから板厚方向Ｚに向かって深さが０．５０×Ｄとなる第二点５２とを結ぶ直線を溝端直線３Ｅとする。そして、溝３の第一角度θは、溝端直線３Ｅの鋼板表面２ａに対する傾斜角度と定義する。

なお、第一角度θを測定するためには、鋼板表面２ａを直線近似しておく必要がある。

例えば、溝基準線ＢＬに基づくうねり曲線上で、溝３を除いた鋼板表面２ａのみの領域を直線近似すればよい。この直線近似した鋼板表面２ａと溝端直線３Ｅとの傾斜角度を測定すればよい。同様の方法によって、溝３の溝長手方向Ｌにおける両端部において、溝端直線３Ｅと鋼板表面２ａとがなす傾斜角度（第一角度θ）を求める。

[0041] 本発明者らは、鋭意実験を重ね、磁気特性改善と耐錆性とを両立する溝形状を探索した。その結果、本実施形態に係る方向性電磁鋼板１に備える溝３は、図２に示すように、溝３の溝長手方向Ｌにおける溝端３１ａ、３１ｂにおいて、溝端直線３Ｅと鋼板表面２ａとがなす角度（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との関係が以下の式（１）を満たすように、溝３の端部が傾斜していればよいことが判った。

[0042] θ＜－２１×Ａ＋７７ ・・・（１）

[0043] 傾斜部５の傾斜角度を示す第一角度θは、溝平均深さＤを平均溝幅Ｗで除して得られるアスペクト比Ａ＝Ｄ／Ｗに基づき規定される。一般に、溝平均深さＤが大きいほど、溝深さに影響を受ける鉄損が改善し、平均溝幅Ｗが小さいほど、鋼部除去によって劣化する磁束密度の劣化量を小さく抑え、かつ鉄損を改善させることができる。すなわち、アスペクト比Ａが大きいほど、磁気特性を好ましく制御できる。一方、アスペクト比Ａが大きいほど、コーティング液が溝内部に浸入しにくくなるため、耐錆性が悪化する。特に、溝

３の溝端部にて、耐錆性が悪化する。従って、磁気特性と耐錆性とを両立するためには、アスペクト比Ａと第一角度θとを合わせて制御する必要がある。具体的には、溝３の第一角度θが上記式（１）の範囲を外れると、アスペクト比に対する溝３の溝端部の傾斜角度が大きいため、溝３の溝端部にてグラス皮膜または絶縁皮膜が溝３を被覆し難くなる。その結果、溝３の溝端部で錆が発生しやすくなる。

[0044] すなわち、錆の発生を抑えるために、溝平均深さＤが深い程、溝端部における傾斜角度（第一角度θ）を小さくする必要がある。また、錆の発生を抑えるために、平均溝幅Ｗが狭いほど、溝端部における傾斜角度（第一角度θ）を小さくする必要がある。そして、溝平均深さＤと平均溝幅Ｗと第一角度θとの関係が式（１）を満足するとき、溝３において磁気特性改善と耐錆性とが両立する効果を奏する。

[0045] なお、式（１）は、溝３の溝平均深さＤが５μｍ以上の場合に好適な範囲である。溝３の溝平均深さＤが５μｍ未満であると、溝３の端部の形状のばらつきが小さく、耐錆性の問題が生じ難い。その一方で、溝３の溝平均深さＤが５μｍ未満であると、そもそも溝を形成することによる磁区の細分化が十分とならない場合がある。溝３の深さの上限は特に限定されない。しかし、方向性電磁鋼板の板厚方向Ｚの厚さに対して、溝３の溝平均深さＤが３０％以上となると、磁性材料である方向性電磁鋼板すなわち鋼板の量が低下し、磁束密度が低下する恐れがある。例えば、巻きトランス用途の方向性電磁鋼板の一般的な厚さが０．３５ｍｍ以下である点を考慮すると、溝３の平均深さＤの上限値は１００μｍとすればよい。溝３は、方向性電磁鋼板の片面のみに形成されていてもよく、両面に形成されていてもよい。

[0046] 上記式（１）に加えて、以下の式（２）を満たすと、錆の発生をより高精度に抑えることが可能となるため、好ましいことが実験の結果明らかとなった。

[0047] $\theta < 32 \times A^2 - 55 \times A + 73$ ・・・（２）

[0048] さらに、溝平均深さＤが１５μｍ以上３０μｍ以下の範囲である場合、溝

３の溝端の第一角度θは、溝平均深さＤ及び平均溝幅Ｗに対して以下の式（３）を満たすと、耐錆性を向上させる点で、より好ましいことが実験の結果明らかとなった。

[0049] θ≦０．１２×Ｗ－０．４５×Ｄ＋５７．３９ ・・・（３）

[0050] また、平均溝幅Ｗが３０μｍより大きく、１００μｍ以下である場合、溝３の溝端の第一角度θは、溝平均深さＤ及び平均溝幅Ｗに対して以下の式（４）を満たすと、耐錆性を向上させる点で、より好ましいことが実験の結果明らかとなった。

[0051] θ≦－０．３７×Ｄ＋０．１２×Ｗ＋５５．３９ ・・・（４）

[0052] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板１では、溝平均深さＤが１５μｍ以上３０μｍ以下であっても、第一角度θが上記式（３）を満たすように溝３を形成すれば、グラス皮膜または絶縁皮膜がムラなく被覆可能であり、磁気特性と耐錆性とを両立させることができる。

同様に、平均溝幅Ｗが３０μｍ超１００μｍ以下であっても、第一角度θが上記式（４）を満たせば、磁気特性と耐錆性とを両立できる。方向性電磁鋼板に複数の溝を形成する場合、全ての溝において、上述の条件を満たすと、高品質な方向性電磁鋼板が得られる。但し、溝の端部が方向性電磁鋼板の板幅方向Ｙの両端面に達している場合、その溝の端部では傾斜部が形成されないため、上述の条件が適用されないのは言うまでもない。

[0053] 溝３には、平均厚さが０以上５μｍ以下のグラス皮膜と、平均厚さが１μｍ以上５μｍ以下の絶縁皮膜とが配置されてもよい。また、鋼板表面２ａには、平均厚さが０．５μｍ以上５μｍ以下のグラス皮膜と、平均厚さが１μｍ以上５μｍ以下の絶縁皮膜とが配置されてもよい。さらに、溝３におけるグラス皮膜の平均厚さが、鋼板表面２ａ上のグラス皮膜の平均厚さよりも薄くてもよい。

[0054] なお、溝３にグラス皮膜が存在しない構成（つまり溝３におけるグラス皮膜の平均厚さが０である構成）を採用することにより、対向する溝の壁間の距離（溝幅）をより狭くすることが可能となるので、溝３による磁区細分化

効果（つまり異常渦電流損の低減効果）をより向上させることができる。

[0055] また、上記のように、本実施形態では、グラス皮膜が必須の構成要素ではない。従って、鋼板２および絶縁皮膜だけで構成された方向性電磁鋼板についても、上記実施形態を適用することにより、耐錆性向上の効果を得ることができる。鋼板２および絶縁皮膜だけで構成された方向性電磁鋼板では、溝３に、平均厚さが１μｍ以上５μｍ以下の絶縁皮膜が形成され、鋼板表面２ａに、平均厚さが１μｍ以上５μｍ以下の絶縁皮膜が形成されていてもよい。

[0056] 本実施形態では、鋼板２において、溝３に接する結晶粒（二次再結晶粒）の粒径が平均で５μｍ以上であることが好ましい。また、溝３に接する結晶粒の粒径の上限は特に限定されないが、この上限を１００×１０^{3}μｍ以下としてもよい。溝３の周辺に、溝３の形成に由来する溶融再凝固領域が存在する場合、溝３に接する結晶粒の粒径は微細となる。

この場合、最終的に結晶方位が｛１１０｝＜００１＞方位から逸脱する可能性が高くなり、好ましい磁気特性が得られなく可能性が高くなる。従って、溝３の周辺には、溶融再凝固領域が存在しないことが好ましい。溝３の周辺に溶融再凝固領域が存在しない場合には、溝３に接する結晶粒（二次再結晶粒）の粒径が平均で５μｍ以上となる。また、溝３に接する結晶粒の粒径の上限は特に限定されないが、この上限を１００×１０^{3}μｍ以下としてもよい。

[0057] なお、結晶粒の粒径は、円相当径を意味する。結晶粒の粒径は、例えばＡＳＴＭ Ｅ１１２などの一般的な結晶粒径測定法によって求めればよく、またはＥＢＳＤ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｂａｃｋ Ｓｃａｔｔｅｒｉｎｇ Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ Ｐａｔｔｅｒｎ）法によって求めてもよい。また、溝３に接する結晶粒は、上記の溝短手断面または板厚方向Ｚに垂直な断面にて観察すればよい。上記の溶融再凝固領域を有さない溝は、例えば、後述の製造方法によって得ることが可能である。

[0058] 特に、溝短手断面で溝３を見た場合に、鋼板２における溝３の下部に存在

する結晶粒（二次再結晶粒）の板厚方向粒径が５μｍ以上且つ鋼板２の板厚以下であることが好ましい。この特徴は、鋼板２における溝３の下部に、結晶粒の板厚方向粒径が１μｍ程度の微細粒層（溶融再凝固領域）が存在しないことを意味する。

[0059] 次に、本実施形態に係る方向性電磁鋼板１の製造方法を説明する。図８は、方向性電磁鋼板１の製造プロセスを示すフローチャートである。図８に示すように、最初の鋳造工程Ｓ０１では、質量分率で、Ｓｉ：０．８％～７％、Ｃ：０％超～０．０８５％、酸可溶性Ａｌ：０％～０．０６５％、Ｎ：０％～０．０１２％、Ｍｎ：０％～１％、Ｃｒ：０％～０．３％、Ｃｕ：０％～０．４％、Ｐ：０％～０．５％、Ｓｎ：０％～０．３％、Ｓｂ：０％～０．３％、Ｎｉ：０％～１％、Ｓ：０％～０．０１５％、Ｓｅ：０％～０．０１５％、を含有し、残部がＦｅ及び不純物からなる化学成分を有する溶鋼が連続鋳造機に供給されて、スラブが連続的に製出される。続いて、熱間圧延工程Ｓ０２では、鋳造工程Ｓ０１から得られたスラブに対して、所定の温度条件（例えば１１５０～１４００℃）で加熱された後、そのスラブに対して熱間圧延が実施される。これにより、例えば、１．８～３．５ｍｍの厚さを有する熱延鋼板が得られる。

[0060] 続いて、焼鈍工程Ｓ０３では、熱間圧延工程Ｓ０２から得られた熱延鋼板に対して、所定の温度条件（例えば７５０～１２００℃で３０秒～１０分間加熱するという条件）の下で焼鈍処理が実施される。

[0061] 続いて、冷間圧延工程Ｓ０４では、焼鈍工程Ｓ０３にて焼鈍処理が実施された熱延鋼板の表面に必要に応じて酸洗処理が実施された後、熱延鋼板に対して冷間圧延が実施される。これにより、例えば、０．１５～０．３５ｍｍの厚さを有する冷延鋼板が得られる。

[0062] 続いて、脱炭焼鈍工程Ｓ０５では、冷間圧延工程Ｓ０４から得られた冷延鋼板に対して、所定の温度条件（例えば７００～９００℃で１～３分間加熱するという条件）で且つ湿潤雰囲気中で熱処理（すなわち、脱炭焼鈍処理）が実施される。このような脱炭焼鈍処理が実施されると、冷延鋼板において

、炭素が所定量以下に低減され、一次再結晶組織が形成される。また、脱炭焼鈍工程Ｓ０５では、冷延鋼板の表面に、シリカ（SiO_2）を主成分として含有する酸化物層が形成される。

[0063] 続いて、焼鈍分離剤塗布工程Ｓ０６では、マグネシア（ＭｇＯ）を主成分として含有する焼鈍分離剤が、冷延鋼板の表面（酸化物層の表面）に塗布される。続いて、仕上焼鈍工程Ｓ０７では、焼鈍分離剤が塗布された冷延鋼板に対して、所定の温度条件（例えば１１００～１３００℃で２０～２４時間加熱するという条件）の下で熱処理（すなわち、仕上焼鈍処理）が実施される。このような仕上焼鈍処理が実施されると、二次再結晶が冷延鋼板に生じるとともに、冷延鋼板が純化される。その結果、上述の鋼板２の化学組成を有し、結晶粒の磁化容易軸と圧延方向Ｘとが一致するように結晶方位が制御された冷延鋼板（つまり方向性電磁鋼板１の溝３を形成する前の状態の鋼板２）が得られる。

[0064] また、上記のような仕上焼鈍処理が実施されると、シリカを主成分として含有する酸化物層が、マグネシアを主成分として含有する焼鈍分離剤と反応して、鋼板２の表面にフォルステライト（Mg_2SiO_4）等の複合酸化物を含むグラス皮膜（不図示）が形成される。仕上焼鈍工程Ｓ０７では、鋼板２がコイル状に巻かれた状態で仕上焼鈍処理が実施される。仕上焼鈍処理中に鋼板２の表面にグラス皮膜が形成されることにより、コイル状に巻かれた鋼板２に焼き付きが発生することを防止することができる。

[0065] 絶縁皮膜形成工程Ｓ０８では、鋼板表面２ａに対して、例えばコロイダルシリカ及びリン酸塩を含有する絶縁コーティング液が、グラス皮膜の上から塗布される。その後、所定の温度条件（例えば８４０～９２０℃）の下で熱処理が実施されることにより、グラス皮膜の表面に絶縁皮膜が形成される。

[0066] 続いて、溝加工工程Ｓ０９では、グラス皮膜及び絶縁皮膜が形成された鋼板表面２ａに、溝３を形成する。本実施形態に係る方向性電磁鋼板１は、レーザ法、プレス機械法、エッチング法等の方法により溝を形成することができる。以下、溝加工工程Ｓ０９において、レーザ法、プレス機械法、エッチ

ング法等を用いた場合の溝３の形成方法を説明する。

[0067] （レーザ法による溝の形成方法）

レーザ法により溝を形成する方法について説明する。

溝加工工程Ｓ０９では、グラス皮膜が形成された鋼板の表面（片面のみ）に対してレーザを照射することにより、鋼板２の表面に、圧延方向Ｘに交差する方向に延びる複数の溝３が、圧延方向Ｘに所定間隔で形成される。

[0068] 図９に示すように、溝加工工程Ｓ０９では、レーザ光源（図示省略）から出射されたレーザ光ＹＬが、光ファイバ９を介してレーザ照射装置１０に伝送される。レーザ照射装置１０は、ポリゴンミラーとその回転駆動装置（ともに図示省略）を内蔵している。レーザ照射装置１０は、ポリゴンミラーの回転駆動によって、レーザ光ＹＬを鋼板２の表面に向けて照射すると共に、レーザ光ＹＬを鋼板２の板幅方向Ｙと略平行に走査する。

[0069] レーザ光ＹＬの照射と同時に、空気又は不活性ガス等のアシストガス２５が、レーザ光ＹＬが照射される鋼板２の部位に吹き付けられる。不活性ガスは、例えば、窒素又はアルゴン等である。アシストガス２５は、レーザ照射によって鋼板２から溶融又は蒸発した成分を除去する役割を担っている。アシストガス２５の吹き付けにより、レーザ光ＹＬが安定的に鋼板２に到達するため、溝３が安定的に形成される。また、アシストガス２５の吹き付けにより、上記成分が鋼板２に付着することを抑制することができる。以上の結果、レーザ光ＹＬの走査ラインに沿って溝３が形成される。

[0070] 鋼板２が圧延方向Ｘと一致する通板方向に沿って搬送されながら、鋼板２の表面に対してレーザ光ＹＬが照射される。ここで、溝３が圧延方向Ｘに沿って所定の間隔ＰＬで形成されるように、ポリゴンミラーの回転速度は、鋼板２の搬送速度に対して同期制御される。その結果、図９に示すように、鋼板２の表面に、圧延方向Ｘと交差する複数の溝３が、圧延方向Ｘに沿って所定間隔ＰＬで形成される。

[0071] レーザ光源としては、例えばファイバレーザを用いることができる。ＹＡＧレーザ、半導体レーザ、またはCO_2レーザ等の一般的に工業用に用いられ

る高出力レーザをレーザ光源として使用してもよい。また、溝３を安定的に形成することができさえすれば、パルスレーザ、または連続波レーザをレーザ光源として使用してもよい。レーザ光ＹＬの照射条件として、例えば、レーザ出力を２００Ｗ～２０００Ｗに、レーザ光ＹＬの圧延方向Ｘにおける集光スポット径（すなわちレーザ出力の８６％を含む直径、以下８６％径と省略記載）を１０μｍ～１０００μｍに、レーザ光ＹＬの板幅方向Ｙにおける集光スポット径（８６％径）を１０μｍ～４０００μｍに、レーザ走査速度を１ｍ／ｓ～１００ｍ／ｓに、レーザ走査ピッチ（間隔ＰＬ）を４ｍｍ～１０ｍｍに設定することが好ましい。

[0072] 図１０に示すように、本実施形態の溝加工工程Ｓ０９では、圧延方向Ｘに平行な通板方向ＴＤに沿って搬送される鋼板２を平面視したとき、レーザ光ＹＬのレーザ走査方向ＳＤ（板幅方向Ｙに平行な方向）に対して角度θ２の傾きを持つ方向から、レーザ光ＹＬを追従するようにアシストガス２５が噴射される。また、図１１に示すように、通板方向ＴＤに沿って搬送される鋼板２を板幅方向Ｙ（レーザ走査方向ＳＤ）から視たとき、鋼板表面２ａに対して角度θ３の傾きを持つ方向から、レーザ光ＹＬを追従するようにアシストガス２５が噴射される。角度θ２は、９０°以上１８０°以下の範囲で設定されることが好ましく、角度θ３は、１°以上８５°以下の範囲で設定されることが好ましい。また、アシストガス２５の流量を、毎分１０～１０００リットルの範囲で設定することが好ましい。

さらに、鋼板２の通板雰囲気に存在する、０．５μｍ以上の径を有する粒子の数量が、１ＣＦ(キュービックフィート)当たり１０個以上１００００個未満となるように雰囲気制御を行うことが好ましい。

[0073] 方向性電磁鋼板の全幅にわたるレーザビームの走査は、図９に示すように１台の走査装置により行われてもよく、図１２に示すように複数台の走査装置により行われてもよい。光源が１台の場合、この光源から出射されたレーザビームを分割してレーザビームとすればよい。複数台のレーザ照射装置１０を用いる場合、図１２に示すように、複数台のレーザ照射装置１０は、圧

延方向Ｘに沿って所定間隔で配置される。また、圧延方向Ｘから見たときに、各レーザ照射装置１０のレーザ走査ラインが互いに重ならないように、各レーザ照射装置１０の板幅方向Ｙにおける位置が設定されている。

[0074] このようなレーザ照射方法を採用することで、複数の溝３を鋼板表面２ａに形成することができる。複数台の走査装置を用いることで、板幅方向Ｙに照射領域を複数に分割することが可能となるため、レーザビーム１本当たりに要する走査及び照射の時間が短縮される。従って、特に高速の通板設備に適している。複数台の走査装置が用いられる場合、各走査装置に入射してくるレーザビームの光源であるレーザ装置は１台のみ設けられていてもよく、走査装置毎に１台ずつ設けられていてもよい。

[0075] ミラーの一面によりレーザビームが方向性電磁鋼板上に走査されて、方向性電磁鋼板上に所定の長さ（例えば、３００ｍｍ）の溝３が略幅方向に形成される。圧延方向Ｘに隣接する溝の間隔、すなわち圧延方向（搬送方向）の照射ピッチＰＬは、ライン速度ＶＬ及び照射速度の調整により変更可能である。このように、レーザ照射装置を用いて、方向性電磁鋼板にレーザビームを照射して圧延方向Ｘに一定の走査間隔ＰＬ（照射ピッチ、溝間隔）で溝を形成する。すなわち、方向性電磁鋼板の表面にレーザビームを集光して走査しながら照射して、方向性電磁鋼板の搬送方向に略垂直な方向（搬送方向と交差する方向、搬送方向に垂直なベクトルを含む方向）に延在する所定の長さの溝を搬送方向に所定の間隔で形成する。溝３は、例えば、方向性電磁鋼板の搬送方向に略垂直な方向に対しプラス４５°からマイナス４５°の範囲内で形成される。

[0076] スキャン両端部では、ミラーの動作と同期させてレーザの出力を時間変化させることで溝３の深さを変化させて、溝３の端部３１ａ、３１ｂを傾斜させる。すなわち、図１３に示すように、スキャン方向において、溝３の端部となる位置でレーザの出力が変化するように設定する。例えば、溝３の溝幅が１００μｍ、溝深さが２０μｍ、照射ピッチ３ｍｍ、鋼板上でのスキャン速度が３０ｍ／ｓの場合、溝端部の第一角度θを６０°以下とするためには

、一つの溝の形成開始時と形成終了時において、レーザの出力に変化を与える時間ΔＴを０．０００４ｍｓ以上とする。これにより、溝３の溝長手方向Ｌの端部において上述の第一角度θで傾斜した溝３が形成される。

[0077] レーザビームの照射は、例えば、図９に示すように、光源であるレーザ装置から出射されたレーザビームを、走査装置が、方向性電磁鋼板の圧延方向Ｘにほぼ垂直な板幅方向Ｙに所定の間隔ＰＬで走査することにより行われる。この際、空気又は不活性ガス等のアシストガスが方向性電磁鋼板のレーザビームが照射される部位に吹き付けられる。これらの結果、方向性電磁鋼板の表面のレーザビームが照射された部分に溝３が形成される。圧延方向Ｘは通板方向と一致している。

[0078] レーザビームの照射を行う際の方向性電磁鋼板の温度は特に限定しない。例えば、室温程度の方向性電磁鋼板に対してレーザビームの照射を行うことができる。レーザビームを走査する方向は板幅方向Ｙと一致している必要はない。しかし、作業効率等の観点及び圧延方向に長い短冊状に磁区を細分する点から、走査方向と板幅方向Ｙとがなす角は０°～９０°の範囲であり、４５°以内であることが好ましい。走査方向と板幅方向Ｙとがなす角は２０°以内であることがより好ましく、１０°以内であることが更に一層好ましい。

[0079]（プレス機械法による溝の形成方法）

本実施形態に係る方向性電磁鋼板１の溝３をプレス機械法により製造する方法について説明する。プレス機械法により方向性電磁鋼板に溝３を形成する場合、溝３の形状に対応させた歯型を用いて公知のプレス機械方法により溝を形成する。すなわち、歯型の長さ方向における端部に第一角度θと同じ角度の傾斜部を形成した歯型を用いて溝３が形成される。

[0080]（電解エッチング法による溝の形成方法）

本実施形態に係る方向性電磁鋼板１の溝を電解エッチング法により製造する方法について説明する。

絶縁皮膜形成工程Ｓ０８後の方向性電磁鋼板１の表面に、溝の形状に対応

する部分を開口させたエッチングレジスト層を印刷等により形成する。エッチングレジスト層の開口は、溝端部に対応する箇所では、溝長手方向Ｌの中央部に比べて両端部の開口幅が狭くなるように短手方向の開口幅が徐々に小さくなるように傾斜したエッチングレジストを形成する。例えば、溝平均深さＤが２０μｍ、溝短手方向Ｑの溝幅が５０μｍ、且つ第一角度θを５５°以下にするためには、エッチングレジストの開口は、溝短手方向Ｑの開口幅を１００μｍ以上に設定し、溝端部に対応して傾斜する箇所の溝長手方向Ｌの長さが１４μｍとなるように形成される。この結果、エッチングレジストの開口幅が狭く設定された溝端部には傾斜部５が形成される。その後、エッチング液（ＮａＣｌ等）を用いて、液温３０℃で２０秒エッチング処理を施す。続いて、方向性電磁鋼板からエッチングレジストを剥離することにより、鋼板表面２ａに溝３を形成する。

[0081] 溝加工工程Ｓ０９で溝３を形成した後、再度、上記絶縁皮膜形成工程と同様の処理を行う（再絶縁皮膜形成工程Ｓ１０）。得られる絶縁皮膜の厚さは、２～３μｍである。以上により本実施形態に係る方向性電磁鋼板が得られる。

[0082] 上記のように製造された方向性電磁鋼板１の鋼板２は、化学成分として、質量分率で、Ｓｉ：０．８％～７．０％、Ｃ：０％超～０．０８５％、酸可溶性Ａｌ：０％～０．０６５％、Ｎ：０％～０．０１２％、Ｍｎ：０％～１％、Ｃｒ：０％～０．３％、Ｃｕ：０％～０．４％、Ｐ：０％～０．５％、Ｓｎ：０％～０．３％、Ｓｂ：０％～０．３％、Ｎｉ：０％～１％、Ｓ：０％～０．０１５％、Ｓｅ：０％～０．０１５％、を含有し、残部がＦｅ及び不純物からなる。

[0083] なお、上記実施形態では、鋼板表面２ａに絶縁皮膜が形成された後に、レーザ照射によって鋼板表面２ａに溝３を形成するという製造プロセスを採用する場合を例示した。この場合、レーザ照射直後の溝３は外部に露出しているので、溝３の形成後に、再度、絶縁皮膜を鋼板２上に形成する必要がある。ただし、本実施形態では、鋼板表面２ａに絶縁皮膜が形成される前に、鋼

板表面２ａに向けてレーザ光ＹＬを照射することにより、鋼板表面２ａに溝３を形成し、その後に、絶縁皮膜を鋼板２上に形成するという製造プロセスを採用してもよい。または、本実施形態では、鋼板２に溝３が形成された後に、グラス皮膜または絶縁皮膜が形成されてもよい。

[0084] 従って、本実施形態に係る方向性電磁鋼板には、二次再結晶のための高温焼鈍が完了し且つグラス皮膜及び絶縁皮膜のコーティングが完了した方向性電磁鋼板１が含まれるが、同様に、グラス皮膜及び絶縁皮膜のコーティングが完了する前の方向性電磁鋼板も含まれる。すなわち、本実施形態に係る方向性電磁鋼板を用いて、後工程として、グラス皮膜及び絶縁皮膜の形成を行うことで最終製品を得てもよい。なお、上記したように、上記の皮膜除去方法を行った場合、グラス皮膜または絶縁皮膜を除去した後の溝３の形状や粗さは、グラス皮膜または絶縁皮膜を形成する前と同等であることが確認されている。

[0085] なお、上記実施形態では、仕上焼鈍工程Ｓ０７の後に溝加工工程（レーザ照射工程）Ｓ０９を実施する場合を例示したが、冷間圧延工程Ｓ０４と脱炭焼鈍工程Ｓ０５との間に溝加工工程を実施してもよい。すなわち、冷間圧延工程Ｓ０４から得られる冷延鋼板に対してレーザ照射及びアシストガス噴射を行うことにより、冷延鋼板の鋼板表面２ａに溝３を形成した後、その冷延鋼板に対して脱炭焼鈍を実施してもよい。

[0086] 本実施形態では、溝３の延在方向である溝長手方向Ｌが、圧延方向Ｘ及び板幅方向Ｙに対して交差する方向である例を示した。しかし、本実施形態に係る方向性電磁鋼板１の溝３の延在方向は、これに限定されない。例えば、溝３の溝長手方向Ｌが圧延方向Ｘに略直交していても、磁気特性改善と耐錆性とを両立させることができる。

[0087] 本実施形態では、方向性電磁鋼板に形成される溝３の数は特に限定されない。例えば、板幅方向Ｙ及び圧延方向Ｘに複数の溝３を形成してもよい。また、溝３の両端部が鋼板２の板幅方向Ｙの両端部近傍まで延びる長尺な一つの溝となるように形成してもよく、この溝３が圧延方向に等間隔で複数形成

されてもよい。

[0088] 本実施形態では、平面視したときの溝３の形状（溝３と鋼板表面２ａとの境界部分の形状）が、長楕円である例を示した。しかし、方向性電磁鋼板の溝の形状はこれに限定されない。例えば、溝は、溝長手方向Ｌの端部に傾斜部を有し、上記の式（１）の関係を満たしさえすれば、どのような形状でもよい。

[0089] 図３では、溝短手方向Ｑから見た溝３の形状が、溝短手方向Ｑにて溝幅中心を基準として非対称形状である例を示した。しかし、溝の形状はこれに限定されない。

実施例

[0090] 以下、実施例により本発明の一態様の効果を更に具体的に説明するが、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、種々の条件を採用し得る。

[0091] 質量分率で、Ｓｉ：３．０％、酸可溶性Ａｌ：０．０５％、Ｃ：０．０８％、Ｎ：０．０１％、Ｍｎ：０．１２％、Ｃｒ：０．０５％、Ｃｕ：０．０４％、Ｐ：０．０１％、Ｓｎ：０．０２％、Ｓｂ：０．０１％、Ｎｉ：０．００５％、Ｓ：０．００７％、Ｓｅ：０．００１％、を含有し、残部がＦｅ及び不純物からなる化学成分を有するスラブを準備した。このスラブに対して、熱間圧延工程Ｓ０２を実施し、２．３ｍｍの厚さを有する熱間圧延材を作製した。

[0092] 次に、熱間圧延材に対して、温度１０００℃で１分間の条件で熱処理を行った（焼鈍工程Ｓ０３）。熱処理後に酸洗処理を施した上で冷間圧延を実施し（冷間圧延工程Ｓ０４）、０．２３ｍｍの厚さを有する冷間圧延材を作製した。

[0093] この冷間圧延材に対して、温度８００℃で２分間の条件で脱炭焼鈍を実施した（脱炭焼鈍工程Ｓ０５）。

脱炭焼鈍後の冷間圧延材の両面に、マグネシアを主成分とする焼鈍分離剤を塗布した（焼鈍分離剤塗布工程Ｓ０６）。焼鈍分離剤を塗布した冷間圧延材をコイル状に巻き取った状態で炉に装入し、温度１２００℃で２０時間最終仕上焼鈍工程Ｓ０７を実施し、表面にグラス皮膜が形成された鋼板地鉄を作製した。

[0094] 次に、グラス皮膜の上に、リン酸アルミニウムを主成分とする絶縁材を塗布し、温度８５０℃、１分間で焼き付けを行い、絶縁皮膜を形成した（絶縁皮膜形成工程Ｓ０８）。

[0095] 続いて、レーザ法を用いて、レーザ走査ピッチ（間隔ＰＬ）は３ｍｍに設定し、ビーム径は圧延方向に０．１ｍｍ、スキャン方向に０．３ｍｍ、スキャン速度３０ｍ／ｓに設定し、溝平均深さＤ、溝長手方向Ｌの平均溝幅W、及び第一角度θが以下の表１に示す溝を鋼板表面２ａに形成した（溝加工工程Ｓ０９）。溝加工工程Ｓ０９後、再度リン酸アルミニウムを主成分とする絶縁材を塗布し、温度８５０℃、１分間で焼き付けを行い、絶縁皮膜を形成し（再絶縁皮膜形成工程Ｓ１０）、方向性電磁鋼板を得た。また、比較例として、上記実施例の方向性電磁鋼板と同様に鋼板が形成され、溝平均深さＤ、溝長手方向Ｌの平均溝幅W、及び第一角度θが以下の表１に示す溝を形成した方向性電磁鋼板を用意した。

[0096] 最終的に得られた上記方向性電磁鋼板中の鋼板（溝が形成された鋼板）は、主にＳｉ：３．０％含有していた。

[0097] 上記輪郭の特定方法に基づき、実施例及び比較例の溝の輪郭を特定した。まず、非接触レーザ距離計（キーエンス社製　ＶＫ－９７００）を用いて、各実施例及び比較例の溝に対し、溝長手方向Ｌの１０本の直線L_1～L_{10}上の二次元高さ分布を測定した。測定結果に基づき、溝の溝長手断面の輪郭をそれぞれ１０パターン得た。１０パターンの溝長手断面の輪郭から、それぞれ溝平均深さＤを算出し、溝平均深さＤが最も深かった溝長手断面の輪郭を、代表パターンとして抽出した。代表パターンの溝平均深さＤを表１の溝深さＤに示す。

[0098] 溝短手方向Ｑの断面における輪郭は、同じ非接触レーザ距離計を用いて、溝短手方向Ｑの２０本の直線における溝の二次元高さ分布を測定した。測定結果に基づき、溝の溝短手断面の輪郭を２０パターン得た。得られた２０パターンの溝短手断面の輪郭において、鋼板表面２ａから溝の表面（輪郭上）までの深さを測定し、溝短手平均深さＤｓを算出した。溝短手断面の輪郭において、溝短手平均深さＤｓ×０．０５の地点を２点抽出し、２点管の距離を溝幅Ｗとして測定した。２０パターンのそれぞれで得られた溝幅Ｗの平均値を平均溝幅として算出した。実施例及び比較例でそれぞれ得られた平均溝幅（単位μｍ）を表１に示す。

[0099]

[表1]

	溝平均深さ D(μm)	平均溝幅 W(μm)	アスペクト比 A=D/W	第一角度 θ(°)	-21×A+77	32×A^2-55×A+73	15≦D≦30のとき θ≦0.12×W-0.45×D+57.39	30≦W≦100のとき θ≦-0.37×D+0.12×W+55.39	錆発生の有無	耐錆性
実施例1	10	200	0.05	70.0	76.0	70.3	-	-	なし	優良
実施例2	50	200	0.25	56.0	71.8	61.3	-	-	なし	優良
実施例3	10	30	0.33	55.0	70.0	58.2	-	○	なし	優良
実施例4	20	50	0.40	54.0	68.6	56.1	○	○	なし	優良
実施例5	15	30	0.50	52.5	66.5	53.5	○	○	なし	優良
実施例6	15	20	0.75	48.0	61.3	49.8	○	-	なし	優良
実施例7	50	50	1.00	48.0	56.0	50.0	-	×	なし	優良
実施例8	15	300	0.05	73	76.0	70.3	-	-	あり	良
実施例9	50	200	0.25	65	71.8	61.3	-	-	あり	良
実施例10	50	150	0.33	60.5	70.0	58.2	-	-	あり	良
実施例11	10	25	0.40	58	68.6	56.1	-	-	あり	良
実施例12	50	100	0.50	56	66.5	53.5	-	×	あり	良
実施例13	15	20	0.75	53	61.3	49.8	×	-	あり	良
実施例14	50	50	1.00	51	56.0	50.0	-	×	あり	良
比較例1	20	100	0.20	75	72.8	63.3	×	×	あり	不良
比較例2	20	50	0.40	70	68.6	56.1	×	×	あり	不良
比較例3	20	20	1.00	60	56.0	50.0	×	×	あり	不良

[0100] 実施例１、２は、上記実施形態に記載の式（１）、及び式（２）の関係のみを満足する例である。実施例８～１４は、上記実施形態に記載の式（１）の関係のみを満足する例である。実施例３は、上記実施形態に記載の式（１）、式（２）及び式（４）の関係を満足する例である。実施例４、５は、上記実施形態に記載の式（１）、式（２）、式（３）及び式（４）の関係を満足する例である。実施例６は、上記実施形態に記載の式（１）、式（２）、及び式（３）の関係を満足する例である。また、比較例１～３は、上記式（１）を満足しない方向性電磁鋼板を用意した。

[0101] 耐錆性の評価は、上記実施例及び比較例の各方向性電磁鋼板から溝を一つ含む３０ｍｍ角の試験片を採取し、その試験片を、温度が５０℃、湿度が９５％以上に維持された室内で４８時間放置した後、各試験片における錆の発生状況を確認した。錆の発生の有無は、目視により確認した。この他、耐錆性については、温度５０℃及び湿度９１％の雰囲気中に試験片を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／ｍ^{2}以下の試験片の耐錆性を“優良”と評価し、重量増加量が５．０ｍｇ／ｍ^{2}以下の試験片の耐錆性を“良”と評価し、重量増加量が１０．０ｍｇ／ｍ^{2}超の試験片の耐錆性を“不良”と評価した。

[0102] 表１に示すように、実施例１～１４の方向性電磁鋼板の耐錆性を検証した結果、少なくとも式（１）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が向上することが確認された。比較例１～３は耐錆性の評価が不良となった。

[0103] 実施例１～１４では、鋼板中の溝に接する結晶粒の粒径が５μｍ以上であった。

産業上の利用可能性

[0104] 本発明の上記態様によれば、磁区細分化のために鋼板の表面に溝が形成された方向性電磁鋼板の耐錆性を向上させることが可能であるので、産業上の

利用可能性を十分に有する。

符号の説明

[0105] １　方向性電磁鋼板

２　鋼板

２ａ　鋼板表面

３　溝

Ｌ　溝長手方向

Ｘ　圧延方向

Ｙ　板幅方向

Ｚ　板厚方向

Ｄ　溝平均深さ

θ　第一角度

Ｗ　平均溝幅

５１　第１点

５２　第２点

３Ｅ　溝端直線

請求の範囲

[請求項1] 圧延方向と交差する方向に延在しかつ溝深さ方向が板厚方向となる溝が形成された鋼板表面を有する鋼板を備える方向性電磁鋼板において、

前記溝は、前記溝の延在する方向である溝長手方向の溝端部には、前記鋼板表面から前記溝の底部に向かって傾斜する傾斜部を有し、

前記溝長手方向の中央部での前記鋼板表面の高さから前記板厚方向の前記溝の深さの平均値を単位μｍで溝平均深さＤとし、

前記傾斜部にて、前記鋼板表面の高さからの前記板厚方向の前記溝の深さが０．０５×Ｄとなる第一点と、前記鋼板表面の高さからの前記板厚方向の前記溝の深さが０．５０×Ｄとなる第二点とを結ぶ直線を溝端直線とし、

前記鋼板表面と前記溝端直線とが成す角度を単位°で第一角度θとし、

前記溝の前記中央部で前記溝長手方向に直交する溝幅方向断面で前記溝を見た場合に、前記溝幅方向断面の前記溝の輪郭にて前記鋼板表面の高さから前記板厚方向の前記溝の深さが０．０５×Ｄとなる２つの点を結ぶ線分の長さである溝幅方向長さの平均値を単位μｍで前記溝の平均溝幅Ｗとしたとき、

前記溝平均深さＤを前記平均溝幅Ｗで除したアスペクト比Ａと前記第一角度θとが、下記（１）式を満足することを特徴とする方向性電磁鋼板。

$$\theta < -21 \times A + 77 \quad \cdots (1)$$

[請求項2] 前記アスペクト比Ａと前記第一角度θとが、下記（２）式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

$$\theta < 32 \times A^2 - 55 \times A + 73 \quad \cdots (2)$$

[請求項3] 前記溝平均深さＤが１５μｍ以上３０μｍ以下のとき、前記第一角度θと、前記溝平均深さＤと、前記平均溝幅Ｗとが、下記（３）式を

満足することを特徴とする請求項１または２に記載の方向性電磁鋼板。

$\theta \leqq 0.12 \times W - 0.45 \times D + 57.39$ …（３）

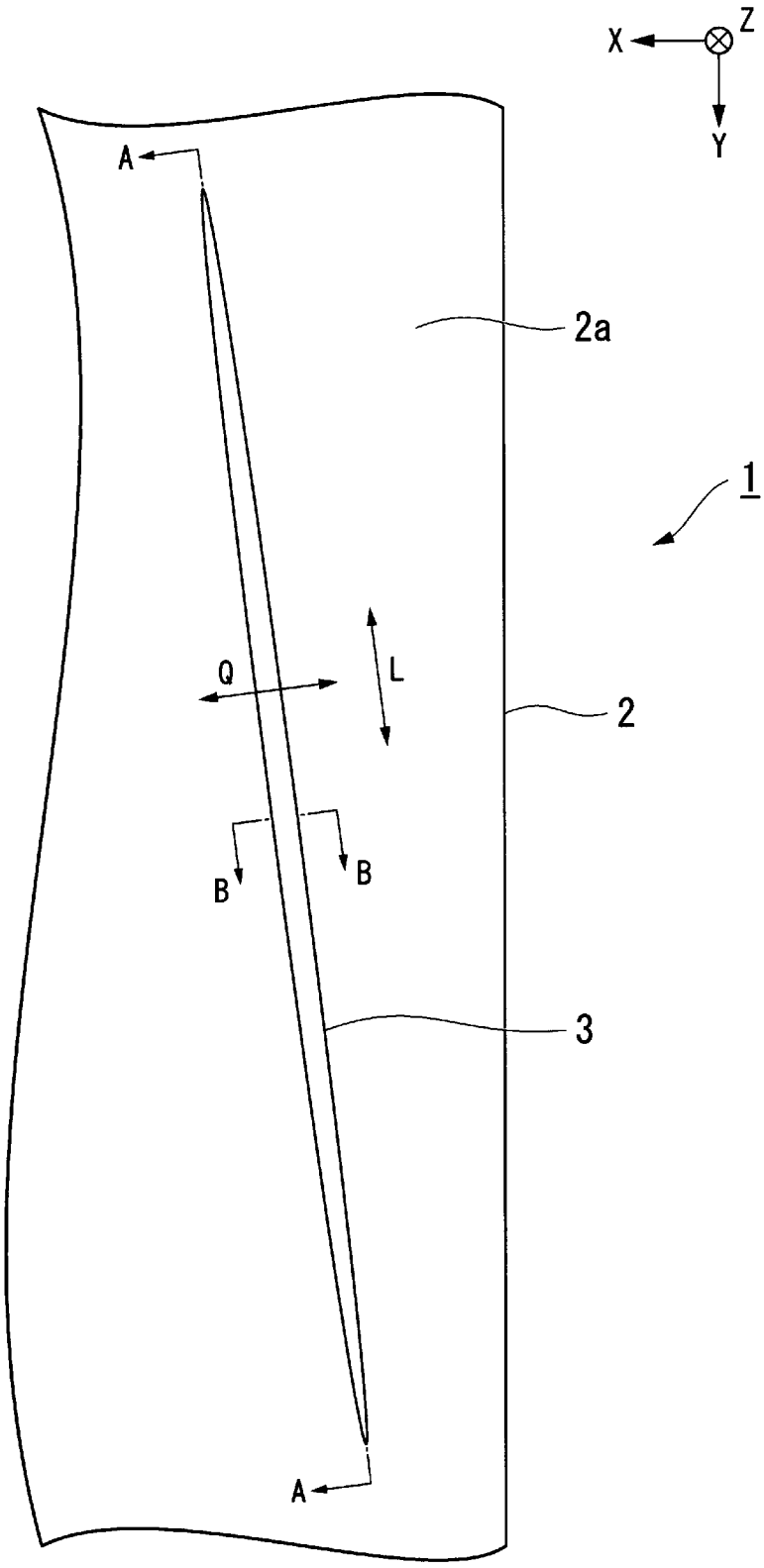
[請求項4] 前記平均溝幅Wが３０μｍ以上１００μｍ以下のとき、前記第一角度θと、前記溝平均深さＤと、前記平均溝幅Wとが、下記（４）式を満足することを特徴とする請求項１または２に記載の方向性電磁鋼板。

$\theta \leqq -0.37 \times D + 0.12 \times W + 55.39$ …（４）

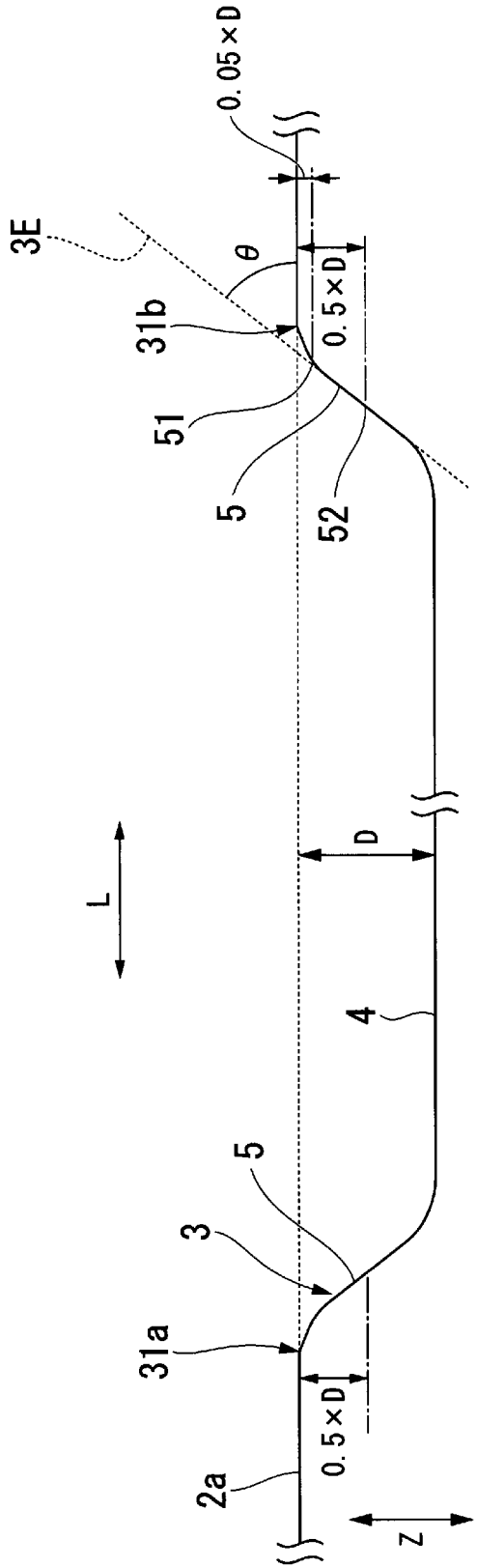
[請求項5] 前記鋼板では前記溝に接する結晶粒の粒径が５μｍ以上であることを特徴とする請求項１から請求項４のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項6] 前記溝平均深さＤが、１０μｍ以上５０μｍ以下であることを特徴とする請求項１から請求項５のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。

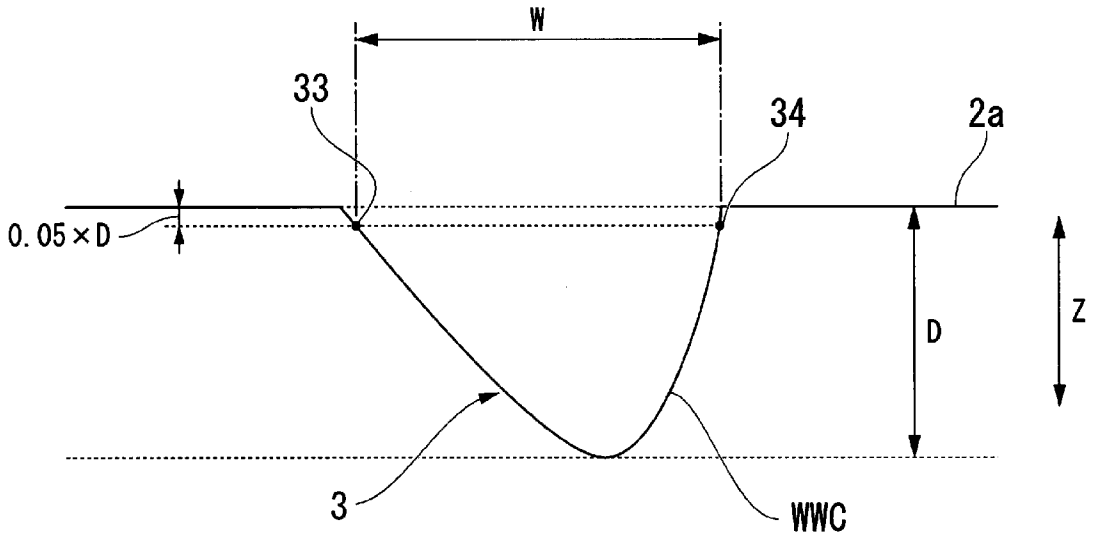
[図1]



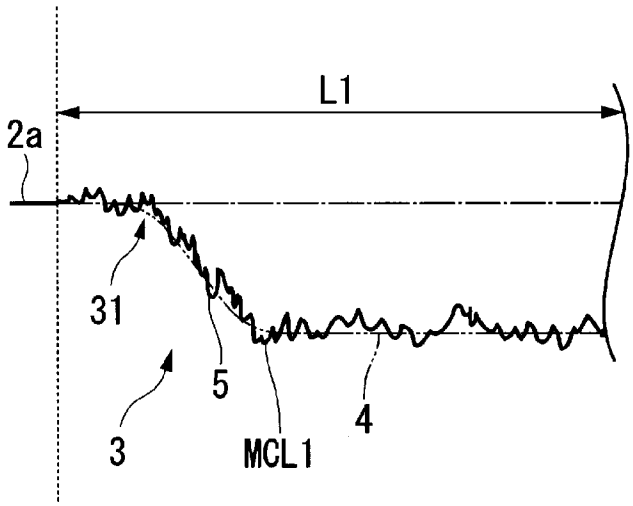
[図2]



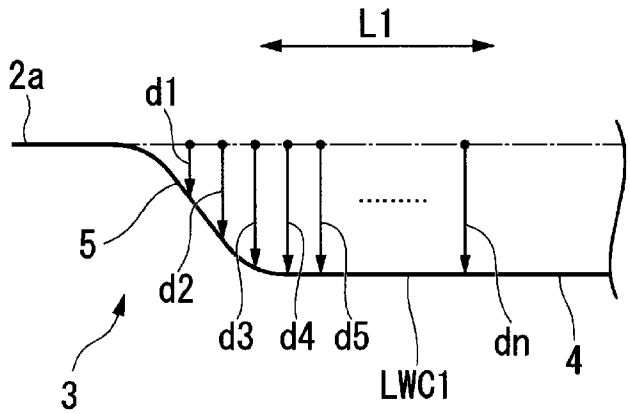
[図3]



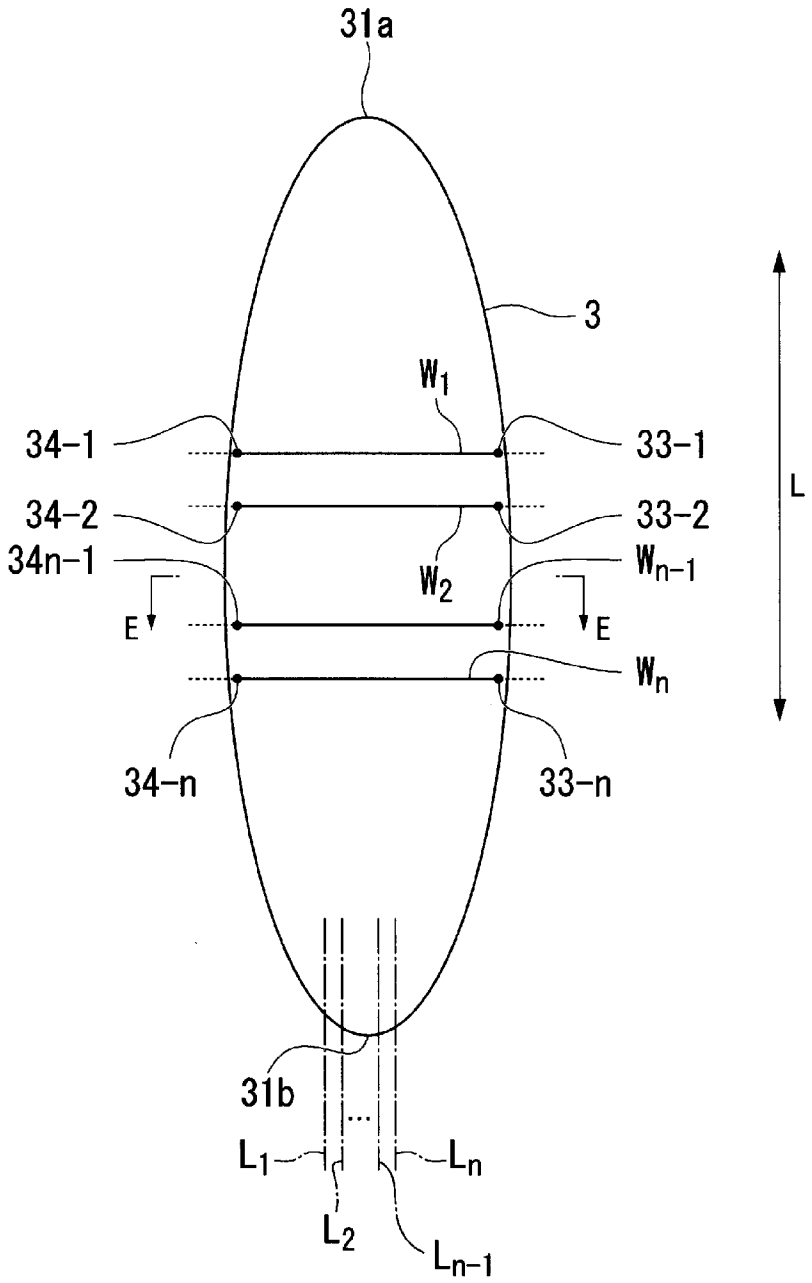
[図4]



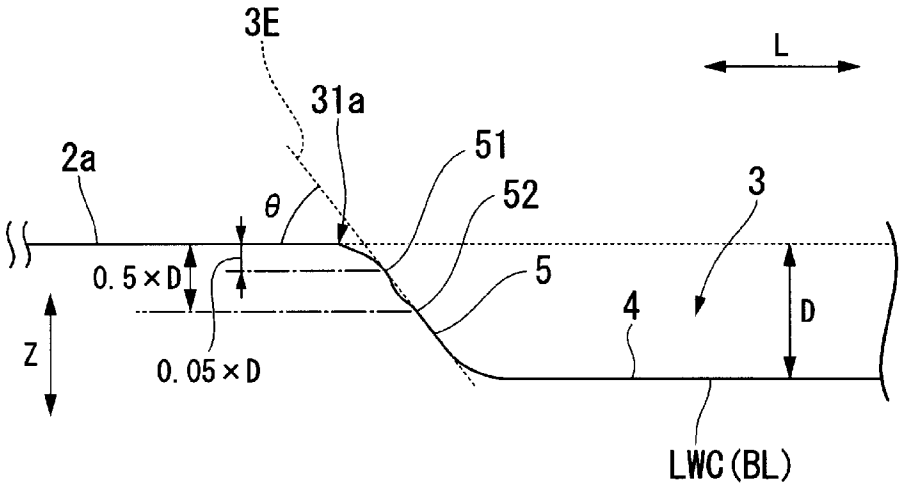
[図5]



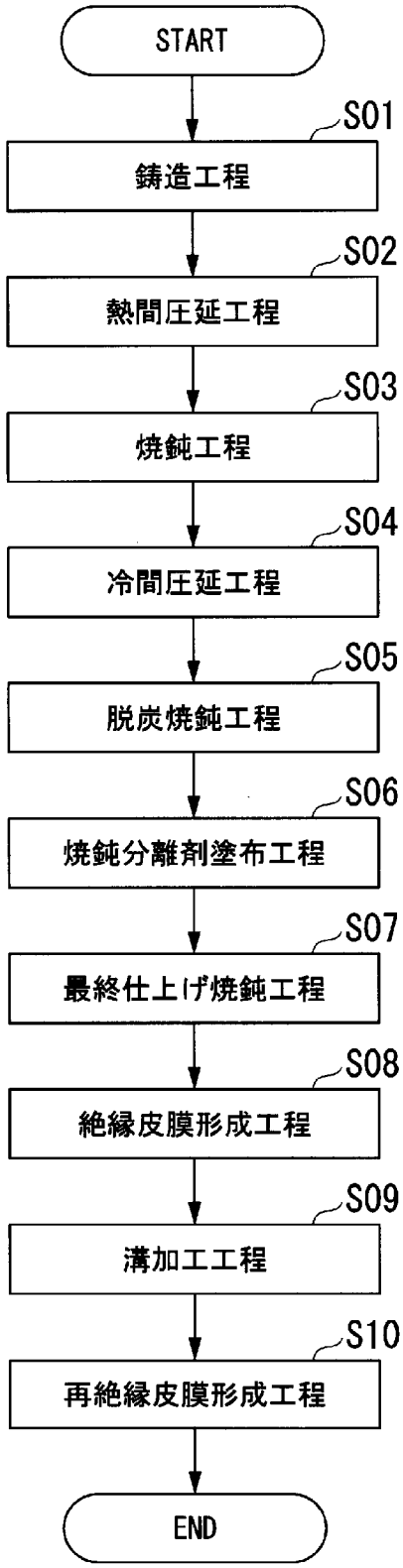
[図6]


31a
3
W1
34-1
33-1
34-2
33-2
34n-1
Wn-1
W2
E
E
Wn
34-n
33-n
L
31b
L1
Ln
L2
Ln-1

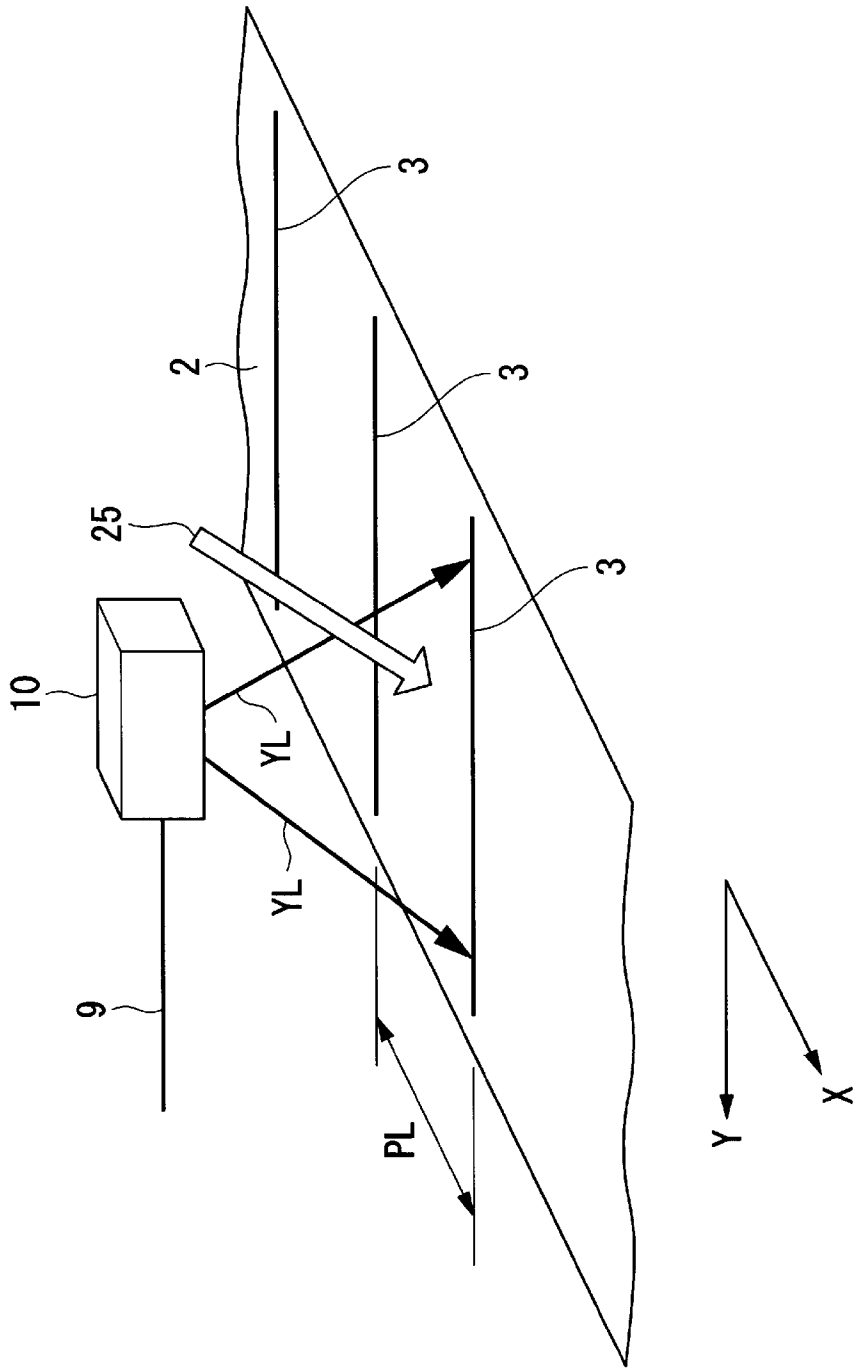
[図7]



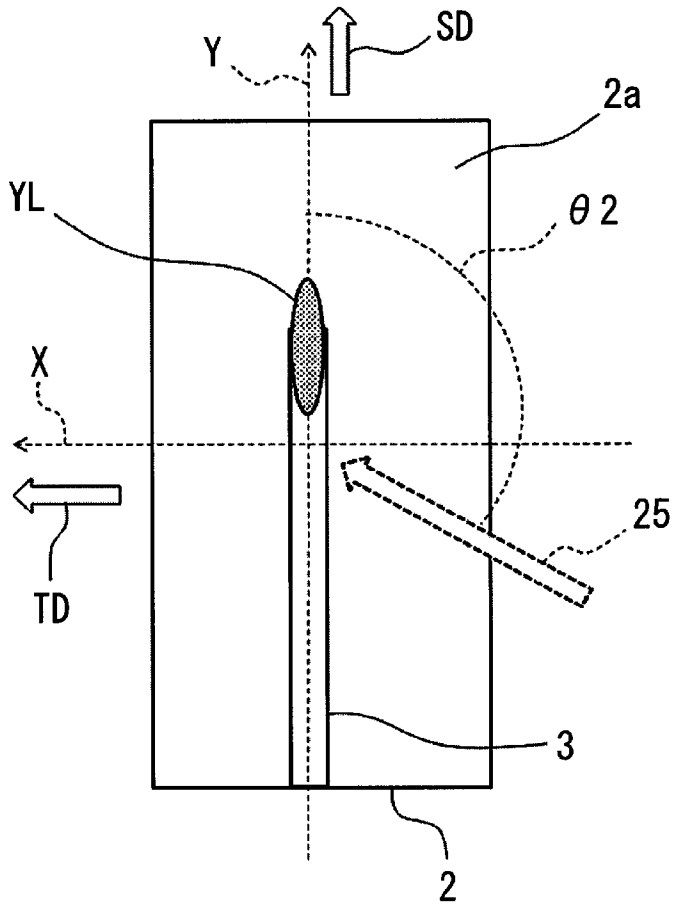
[図8]


START
S01
鋳造工程
S02
熱間圧延工程
S03
焼鈍工程
S04
冷間圧延工程
S05
脱炭焼鈍工程
S06
焼鈍分離剤塗布工程
S07
最終仕上げ焼鈍工程
S08
絶縁皮膜形成工程
S09
溝加工工程
S10
再絶縁皮膜形成工程
END

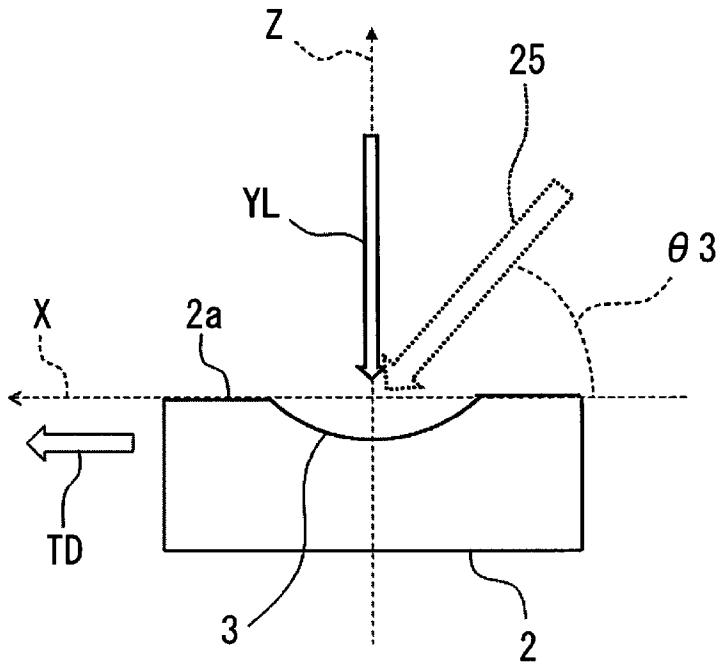
[図9]



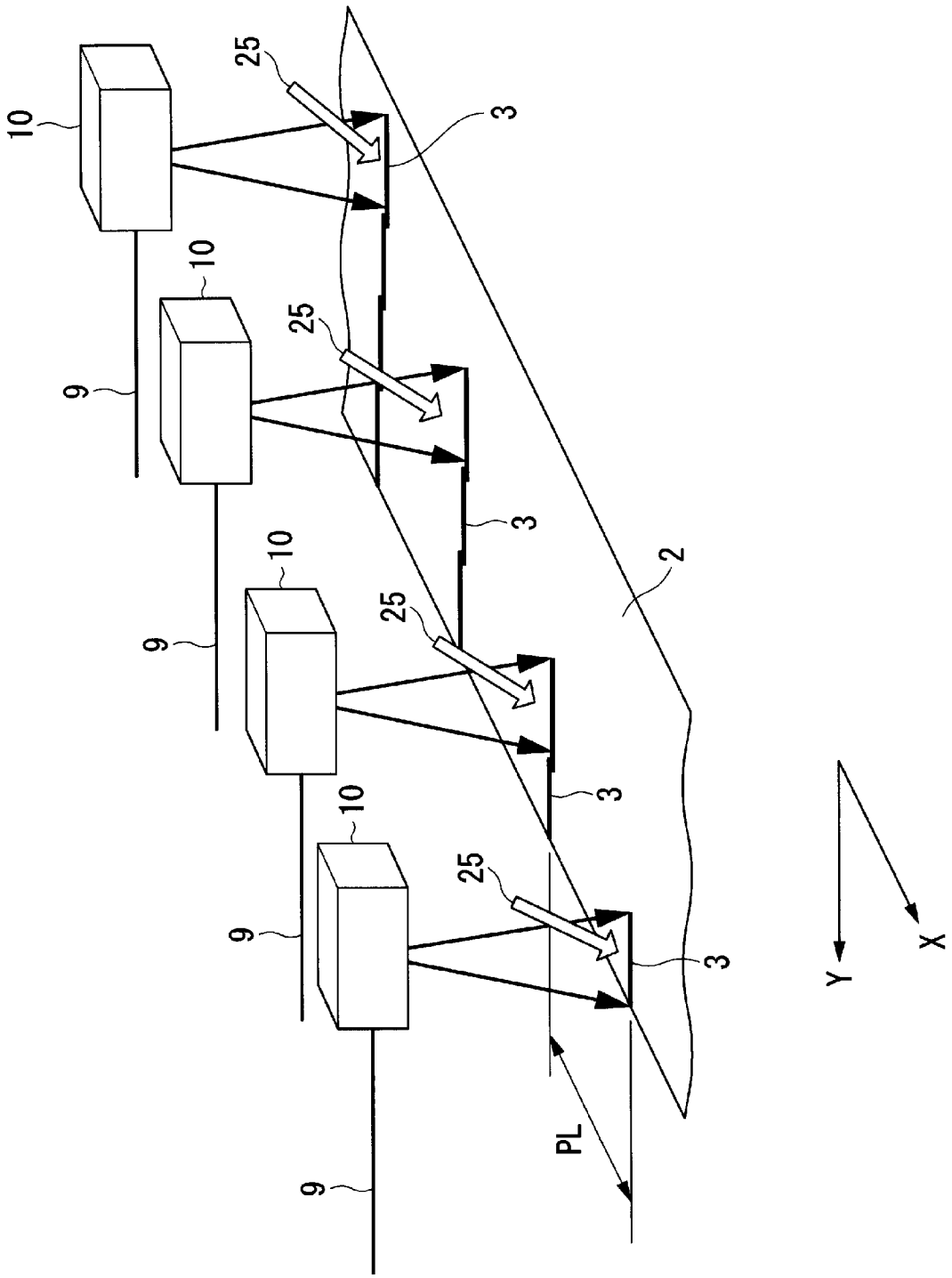
[図10]



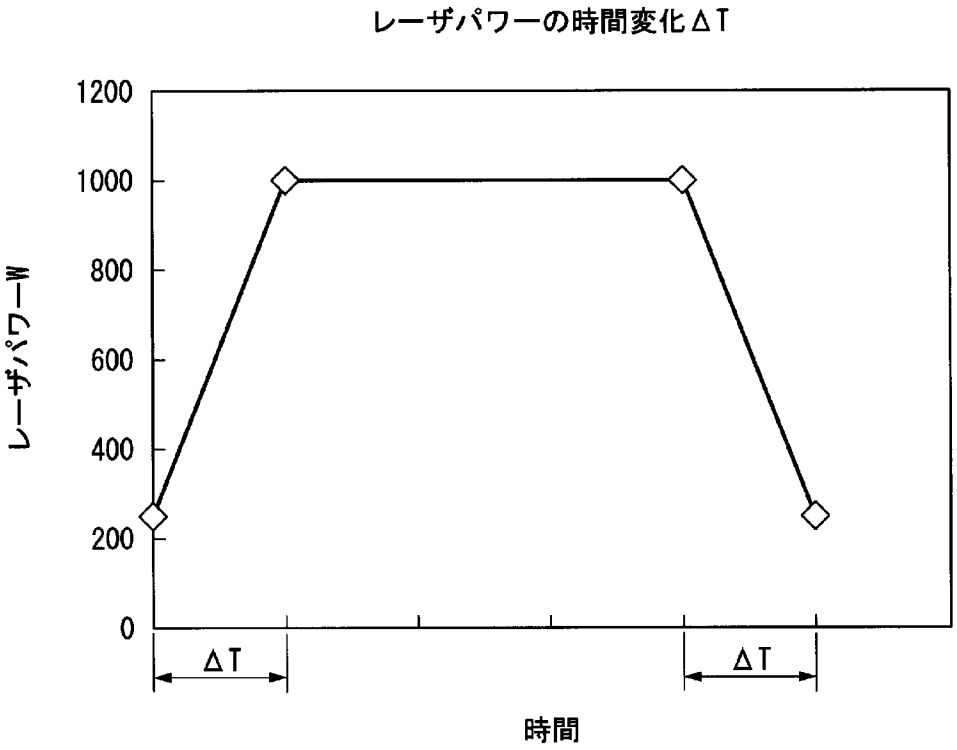
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/062339

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C38/00(2006.01)i, *C21D8/12*(2006.01)i, *C25F1/00*(2006.01)i, *H01F1/16*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C22C38/00-C22C38/60, C21D8/12, C25F1/00, H01F1/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 2012-102395 A (JFE Steel Corp.), 31 May 2012 (31.05.2012), (Family: none)	1-6
A	JP 7-268474 A (Kawasaki Steel Corp.), 17 October 1995 (17.10.1995), (Family: none)	1-6
A	JP 5-121224 A (Kawasaki Steel Corp.), 18 May 1993 (18.05.1993), & US 5393355 A & EP 0539236 A1 & DE 69210353 T2 & KR 10-1995-0009759 B & CA 2081235 A1	1-6
A	JP 6-116642 A (Nippon Steel Corp.), 26 April 1994 (26.04.1994), (Family: none)	1-6

☒ 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
"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
22 July 2016 (22.07.16)	02 August 2016 (02.08.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/062339

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-138648 A (Kawasaki Steel Corp.), 30 May 1995 (30.05.1995), (Family: none)	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６２３３９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C38/00(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)i, C25F1/00(2006.01)i, H01F1/16(2006.01)i

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））

Int.Cl.　C22C38/00-C22C38/60, C21D8/12, C25F1/00, H01F1/16

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	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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 2012-102395 A (ＪＦＥスチール株式会社) 2012.05.31, (ファミリーなし)	1-6
A	JP 7-268474 A (川崎製鉄株式会社) 1995.10.17, (ファミリーなし)	1-6
A	JP 5-121224 A (川崎製鉄株式会社) 1993.05.18, & US 5393355 A & EP 0539236 A1 & DE 69210353 T2 & KR 10-1995-0009759 B & CA 2081235 A1	1-6

☑　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
「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矛盾するものではなく、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
２２．０７．２０１６	０２．０８．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｋ　３５５７
鈴木　葉子
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４３５

Ｃ（続き）．　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 6-116642 A（新日本製鐵株式会社）1994.04.26, （ファミリーなし）	1-6
A	JP 7-138648 A（川崎製鉄株式会社）1995.05.30, （ファミリーなし）	1-6