

(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
2019年8月8日(08.08.2019)



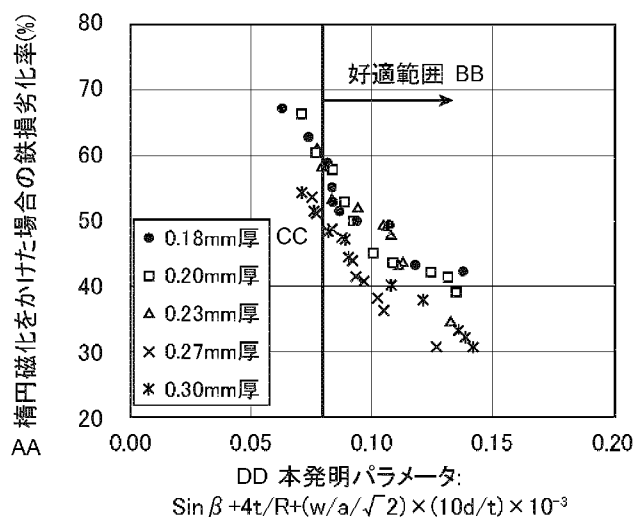
(10) 国際公開番号

WO 2019/151399 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 1/147 (2006.01) *H01F 41/02* (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) *C22C 38/00* (2006.01)
H01F 27/245 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/003399
- (22) 国際出願日: 2019年1月31日(31.01.2019)
- (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 2018-014244 2018年1月31日(31.01.2018) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 井上 博貴(INOUE Hirotaka); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 岡部 誠司(OKABE Seiji); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 大村 健(OMURA Takeshi); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 熊坂 晃, 外(KUMASAKA Akira et al.); 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目7

(54) Title: DIRECTIONAL ELECTRICAL STEEL SHEET, WOUND TRANSFORMER CORE USING THE SAME, AND METHOD FOR MANUFACTURING WOUND CORE

(54) 発明の名称: 方向性電磁鋼板およびこれを用いてなる変圧器の巻鉄心並びに巻鉄心の製造方法



AA Iron loss deterioration rate (%) when elliptical magnetization is applied
BB Preferred range
CC Thickness
DD Parameters of the present invention

(57) Abstract: Provided is a directional electrical steel sheet which is excellent in the reduction effect of transformer core loss when used for a wound core of a transformer. In the directional electrical steel sheet for use in a wound core of a transformer, the thickness t of the steel sheet and the iron loss deterioration rate when the steel sheet is subjected to elliptical magnetization defined by the following formula (1) satisfy the following

番 1 号 J F E テ ク ノ リ サ ー チ 株 式 会 社 知
的財産事業部内 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

relationship. When the thickness $t \leq 0.20$ mm, the iron loss deterioration rate is 60% or less, when $0.20 \text{ mm} < t < 0.27$ mm, the iron loss deterioration rate is 55% or less, and when $0.27 \text{ mm} \leq t$, the iron loss deterioration rate is 50% or less (iron loss deterioration rate when elliptical magnetization is applied) $= ((W_A - W_B)/W_B) \times 100 \dots (1)$. In the formula (1), W_A is iron loss in the case where 50 Hz elliptical magnetization of 1.7 T and 0.6 T is applied in the RD direction (rolling direction) and TD direction (perpendicular to the rolling direction), respectively, and W_B is iron loss in the case where 50 Hz alternating magnetization of 1.7 T is applied in the RD direction.

(57) 要約: 変圧器の巻鉄心に用いた場合に、変圧器鉄損の低減効果に優れる方向性電磁鋼板を提供すること。変圧器の巻鉄心に用いる方向性電磁鋼板であって、該鋼板の板厚 t と、該鋼板に下記(1)式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が、以下の関係を満たす方向性電磁鋼板。板厚 $t \leq 0.20$ mm の場合、鉄損劣化率が 60% 以下 $0.20 \text{ mm} < \text{板厚 } t < 0.27 \text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 55% 以下 $0.27 \text{ mm} \leq \text{板厚 } t$ の場合、鉄損劣化率が 50% 以下 (楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率) $= ((W_A - W_B)/W_B) \times 100 \dots (1)$ ただし、(1)式中、 W_A は、RD 方向(圧延方向)に 1.7 T、TD 方向(圧延方向に直角な方向)に 0.6 T となる 50 Hz 楕円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、RD 方向に 1.7 T の 50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損である。

明 細 書

発明の名称：

方向性電磁鋼板およびこれを用いてなる変圧器の巻鉄心並びに巻鉄心の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、変圧器の巻鉄心に用いる方向性電磁鋼板、およびこれを用いてなる変圧器の巻鉄心、並びに巻鉄心の製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 鉄の磁化容易軸である<001>方位が鋼板の圧延方向に高度に揃った結晶組織を有する方向性電磁鋼板は、特に電力用変圧器の鉄心材料として用いられている。変圧器は、その鉄心構造から積鉄心変圧器と巻鉄心変圧器に大別される。積鉄心変圧器とは、所定の形状に切断した鋼板を積層することによって鉄心を形成するものである。一方、巻鉄心変圧器は、鋼板を巻き重ねて鉄心を形成するものである。大型の変圧器では、現在、専ら積鉄心変圧器が用いられることが多い。変圧器鉄心として要求されることは種々あるが、特に重要なのは鉄損が小さいことである。

[0003] その観点で、鉄心素材である方向性電磁鋼板に要求される特性としても、鉄損値が小さいことは重要である。また、変圧器における励磁電流を減らして銅損を低減するためには、磁束密度が高いことも必要である。この磁束密度は、磁化力800 A/mのときの磁束密度B₈ (T)で評価され、一般に、Goss方位への方位集積度が高いほど、B₈は大きくなる。磁束密度の大きい電磁鋼板は一般にヒステリシス損が小さく、鉄損特性上でも優れる。また、鉄損を低減するためには、鋼板中の二次再結晶粒の結晶方位をGoss方位に高度に揃えることや、鋼成分中の不純物を低減することが重要となる。しかし、結晶方位の制御や不純物の低減には限界があることから、鋼板の表面に対して物理的な手法で不均一性を導入し、磁区の幅を細分化して鉄損を低減する技術、すなわち磁区細分化技術が開発されている。たとえば、

特許文献 1 や特許文献 2 には、鋼板表面に所定深さの線状の溝を設ける耐熱型の磁区細分化方法が記載されている。前記特許文献 1 には、歯車型ロールによる溝の形成手段が記載されている。また前記特許文献 2 には、最終仕上げ焼鈍後の鋼板に対して刃先を押し付けることで溝を形成する手段が記載されている。これらの手段は、熱処理を行っても鋼板に施した磁区細分化効果が消失せず、巻鉄心などにも適用可能であるという利点を有している。

[0004] 変圧器鉄損を小さくする為には、一般には、鉄心素材である方向性電磁鋼板の鉄損（素材鉄損）を小さくすれば良いと考えられる。しかし、変圧器鉄心、特に方向性電磁鋼板を 3 脚または 5 脚有する三相励磁の巻鉄心変圧器では、素材鉄損と比べて変圧器における鉄損が大きくなることが知られている。変圧器の鉄心として電磁鋼板が使用された場合の鉄損値（変圧器鉄損）を、エプスタイン試験で得られる素材の鉄損値で除した値を、一般にビルディングファクタ（BF）またはディストラクションファクタ（DF）と呼ぶ。つまり、3 脚または 5 脚を有する三相励磁の巻鉄心変圧器では、BF が 1 を超えるのが一般的である。

[0005] 一般的な知見として、巻変圧器における変圧器鉄損が素材鉄損に比べて鉄損値が増加する要因として、主に磁路長の違いにより生じる内巻コアへの磁束の集中が指摘されている。図 1 に示すように、内巻コア 1 と外巻コア 2 が同時に励磁された場合、外巻コア 2 に比べ内巻コア 1 の方が磁路長が短いため、内巻コア 1 に磁束が集中し、その結果、内巻コア 1 で鉄損が増加する。特に励磁磁束密度が比較的小さい場合、磁路長の効果が大きいため、磁束の集中による鉄損増加は大きい。励磁磁束密度が大きくなると、内巻コア 1 だけでは励磁を担えなくなり、外巻コア 2 にもより多くの磁束が通るようになるため、磁束の集中は緩和する。但し、図 2 に示すように、外巻コア 2 を通る磁束は、内巻コア 1 に磁束が渡るようになり、内巻コア 1 と外巻コア 2 の間に、層間の磁束渡り 3 が生じるようになる。面内方向に磁化が生じることにより、面内渦電流損の増加が生じることとなり、層間の磁束渡り 3 が生じて鉄損が増加する。

- [0006] さらに変圧器鉄心ではコイル挿入を行うために、図3に示されるように、鋼板と鋼板をラップ接合させた接合部（ラップ部4）が存在する。このラップ部4では、磁束が鋼板面直方向に渡るなど複雑な磁化挙動が起こるため、磁気抵抗が大きくなる。面内方向に磁化が生じることによる面内渦電流損の増加が生じる。
- [0007] こういった変圧器鉄損の増加要因に対する定性的な理解を基に、変圧器鉄損を低減させる方策として例えば以下のような提案がされている。
- [0008] 特許文献3では、磁路長が短く磁気抵抗が小さい内周側に、外周側よりも磁気特性の劣る電磁鋼板を、磁路長が長く磁気抵抗が大きい外周側には、内周側よりも磁気特性の優れた電磁鋼板を配置することで、変圧器鉄損が効果的に低減することが開示されている。特許文献4では、方向性けい素鋼板を巻回した巻鉄心を内側部分に配置し、この巻鉄心の外側に該方向性けい素鋼板より低磁歪の磁性材料を巻回して組合せ鉄心とすることで変圧器騒音を効果的に低減できることが開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1：特公昭62-53579号公報
特許文献2：特公平3-69968号公報
特許文献3：特許第5286292号公報
特許文献4：特開平3-268311号公報
特許文献5：特許第5750820号公報

非特許文献

- [0010] 非特許文献1：電気学会論文誌D、130巻9号、P1087-1093(2010)
非特許文献2：電気学会マグネティクス研究会資料、MAG-04-224、P27-31(2004)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 特許文献3、4に開示されているように、内巻コアへ磁束が集中することを利用し、内巻コアと外巻コアを異材とすることで、効率的に変圧器特性を改善することができる。しかし上記したように、励磁磁束密度が大きくなると、磁束の集中は緩和するため、変圧器特性の改善効果は小さくなる。またこれらの方法は、異材を適切に配置する必要があるため、変圧器の製造性を著しく落とすこととなる。

[0012] 本発明は、変圧器の巻鉄心に用いた場合に、変圧器鉄損の低減効果に優れる方向性電磁鋼板を提供することを目的とする。また、本発明は、前記方向性電磁鋼板を用いた変圧器の巻鉄心およびその製造方法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

[0013] 本発明者らは、内巻コアと外巻コアの間の層間渡り及び接合部における磁気抵抗と変圧器における鉄損増分について調査を行った。

[0014] 図4の巻鉄心形状にて、磁化力800A/mにおける磁束密度B8:1.93Tの0.20mm、0.23mm、0.27mm厚の方向性電磁鋼板を、ラップ接合代を2~6mmに変えて変圧器鉄心を作製し、50Hz、1.7Tの三相励磁を行い、鉄損測定を行った。図4の巻鉄心は、積厚:22.5mm、鋼板幅:100mm、7段ステップラップ、1段ラップ代(2、4、6mm)の形状を有する。同時に、特許文献5に開示されているように、赤外線カメラにより励磁中の鉄心端面の温度上昇を測定し、鉄心内の局所鉄損を測定した。すると、図5に示す、内巻コアと外巻コアの間の層間渡り部6及びラップ接合部7において、特に鉄損が大きくなった。表1に、各変圧器コアにおける変圧器全体の鉄損及び、層間渡り部の鉄損平均、ラップ接合部における鉄損平均の値を示す。

[0015]

[表1]

条件	鉄心作製条件		素材鉄損 (W/kg)	変圧器鉄損 (W/kg)	BF	層間渡り部の 鉄損(W/kg)	ラップ接合部の 鉄損(W/kg)
	板厚	ラップ接合代					
1	0.20mm	2mm	0.78	1.06	1.36	1.68	1.35
2	0.20mm	4mm	0.78	1.03	1.32	1.66	1.31
3	0.20mm	6mm	0.78	1.00	1.28	1.62	1.28
4	0.23mm	2mm	0.82	1.16	1.41	1.83	1.43
5	0.23mm	4mm	0.82	1.11	1.35	1.80	1.39
6	0.23mm	6mm	0.82	1.09	1.33	1.77	1.37
7	0.27mm	2mm	0.88	1.27	1.44	1.88	1.47
8	0.27mm	4mm	0.88	1.24	1.41	1.85	1.43
9	0.27mm	6mm	0.88	1.22	1.39	1.84	1.40

[0016] ラップ接合代が狭い程、板厚が厚い程、変圧器鉄損およびBF（＝変圧器鉄損／素材鉄損）は大きくなった。さらに、層間渡り部の鉄損平均、ラップ接合部における鉄損平均についても、ラップ接合代が狭い程、板厚が厚い程

、大きくなった。よって、層間渡り部の鉄損、ラップ接合部における鉄損が変圧器鉄損の大小を決める重要なファクターとなっていることが推察された。よって、層間渡り部の鉄損、ラップ接合部における鉄損の大小がこういった要因で決定しているかを考えることが重要である。

[0017] ラップ接合部における鉄損については、ラップ部における磁束渡りの観点で以下の要因で変化していると推定している。非特許文献1は鉄心接合ラップにおける渡り磁束に関する文献である。この知見を基に推定した、接合部における磁束の流れを図6に模式的に示す。接合部に到達する磁束は、鋼板外への漏れ磁束がないと仮定すると、接合部を(A)(ラップ部を面外方向に渡る)磁束渡り、(B)(ラップ部以外の積層鋼板の層間を渡る)層間磁束、(C)(鋼板間の)Gapを渡る磁束に分けられる(図6中、接合部に到達した磁束=(A)磁束渡り+(B)層間磁束+(C)Gapを渡る磁束)。ラップ接合代が狭い程、ラップ部の面積が小さくなるため、(A)磁束渡りが小さくなる。また、同様に板厚が厚い程、鉄心内での同積み高さにおける積層枚数が減り、それに伴い接合部体積に対するラップ部の面積が小さくなるため、(A)磁束渡りが小さくなる。(B)層間磁束は、ステップラップ接合ではその対称性より、(A)磁束渡りの半分程度となる(ラップ接合では磁束の対称性を考慮すると(B)層間磁束=(A)磁束渡り $\times$ 1/2、(C)Gapを渡る磁束=接合部に到達した磁束-(A)磁束渡り $\times$ 3/2)。よって、ラップ接合代が狭く、板厚が厚くなり(A)磁束渡りが小さくなると、必然的に(C)Gapを渡る磁束が大きくなることとなる。こういった接合部における磁束の流れを考えると、(C)Gapを渡る磁束が大きくなった結果、ラップ接合部における鉄損が大きくなったと推定する。

[0018] この相関関係については、接合部の磁気抵抗の観点より以下のように考える。Gap部の隙間は組立ての精度にもよるが、通常、積層方向の鋼板同士の隙間(≡電磁鋼板の表面被膜厚さ(〜数 μ m))と比べると大きいので、(C)Gapを渡る磁束の磁気抵抗は、(A)磁束渡り及び(B)層間磁束の磁気抵抗と比べると大きくなると考えられる。よって、Gapを渡る磁束密度が大きくなると、接合部における磁気抵抗が大きくなると考えられる。そして接合部

における磁気抵抗が増加したことで、直接的に接合部における鉄損が大きくなったと考えられる。

[0019] さらに、層間渡り部の鉄損増加についても、接合部の磁気抵抗が重要な要因を占めると推定される。接合部に励磁される磁束密度が大きくなると、(A) 磁束渡りはある一定以上は増えることができないため(C) G a pを渡る磁束が大きくなる。つまり、接合部における磁気抵抗が増加する。それを回避するために、内巻コアへの磁束の集中を回避し、外巻コアへも磁束を通すため、内巻コアと外巻コアの間における層間磁束渡りは増加することとなる。(C) G a pを渡る磁束が大きい、ラップ接合代が狭く、板厚が厚い巻鉄心においては、少しでも(C) G a pを渡る磁束を減らすために、内巻コアと外巻コアの間における層間磁束渡りを増やして、内巻コアへの磁束の集中を緩和して、接合部に励磁される磁束密度を小さくしていると考えられる。層間磁束渡りの増加は、それによる面内渦電流損の増加を引き起こし、これにより層間渡り部の鉄損が増加したと推定した。

[0020] 上記の実験事実及び推定を基に、巻変圧器における変圧器鉄損及びB Fを小さくするためには、G a pを渡る磁束密度を小さくすることが肝要であると知見した。さらに、G a pを渡る磁束密度を小さくするためには、ラップ部を渡る磁束量を大きくすることが重要であると考えられた。ラップ部を渡る磁束量を大きくするためには、ラップ代を大きくしてラップ部面積を増やすという変圧器鉄心の設計で対処するか、板厚を薄くしてラップ箇所を増やし接合部体積当たりのラップ部面積を増やす、あるいはラップ部の磁束渡りの透磁率が大きい素材を使うという対処策が考えられる。本発明では、変圧器鉄心の設計に関わらず鉄損特性に優れた変圧器を製造することを企図し、板厚の影響を考慮した上で、変圧器鉄心にした際のラップ部の磁束渡りの透磁率が大きくなる素材の探索をすることとした。

[0021] 種々の材料の素材磁気特性と、接合部におけるラップ部を渡る磁束密度の関係を調査した。調査では前述の実験と同様に、図4の設計（ラップ代4 m m）の変圧器鉄心を種々の方向性電磁鋼板を用いて作製し、接合ラップ部に

おける鉄損を調査した。接合ラップ部における鉄損が小さいほど、Gapを渡る磁束密度が小さく、ラップを渡る磁束密度が大きいと考えられる。さらに、E p s t e i n試験、S S T試験（電磁鋼板単板磁気特性試験）による方向性電磁鋼板の磁化容易方向である圧延方向への一軸磁化による評価や、非特許文献2に示すような二次元磁気測定装置による、二軸磁化による評価を行い、種々の励磁条件における磁気特性と接合ラップ部における鉄損との相関について調査を行った。すると、素材である方向性電磁鋼板に以下の（1）式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率と、該方向性電磁鋼板を用いて作製した変圧器鉄心のラップ部を渡る磁束密度の相関がよいことが知見された。

$$[0022] \quad (\text{楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率}) = ((W_A - W_B) / W_B) \times 100 \dots (1)$$

ただし、（1）式中、 W_A は、RD方向（圧延方向）に1.7 T、TD方向（圧延方向に直角な方向）に0.6 Tとなる50 Hz楕円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、RD方向に1.7 Tの50 Hz交番磁化をかけた場合の鉄損である。

[0023] 方向性電磁鋼板（素材）について、図7に0.18 mm厚材での結果、図8に0.20 mm厚材での結果、図9に0.23 mm厚材での結果、図10に0.27 mm厚材での結果、図11に0.30 mm厚材での結果を示す。どの板厚においても、鉄心を構成する方向性電磁鋼板に楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が大きくなるに従い、層間渡り部の鉄損が増加した。特に、0.18 mm厚材、0.20 mm厚材では、楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が60%より大きい場合に層間渡り部の鉄損の増加が顕著、0.23 mm厚材では、鉄損劣化率が55%より大きい場合に層間渡り部の鉄損の増加が顕著、0.27 mm厚材、0.30 mm厚材では、鉄損劣化率が50%より大きい場合に層間渡り部の鉄損の増加が顕著であった。前述の通り、層間渡り部の鉄損の増加する場合には、ラップ部の磁束渡りが小さくなっていると推定され、変圧器鉄損にとって不利である。

[0024] 楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率とラップ部の磁束渡りの相関の理由については、必ずしも定かではないが発明者らは以下のように考えている。磁束が面外方向を渡る場合、鋼板面同士の界面には磁極が生じ、その結果、静磁エネルギーが非常に大きくなるため、それを緩和しようと面外方向に反磁界が生じるような磁化状態が変化する。具体的には、鋼板内のランセット磁区構造の増加や、結晶粒界における反磁界発生、磁区細分化材においては、歪み導入部に誘起される還流磁区の増加などが生じると推定される。こういった磁化状態の変化により、ラップ部を渡る磁束密度は減少すると考えられる。一方、面内方向の楕円磁化においては、磁化困難方向である $\langle 111 \rangle$ 方向に磁化が向く瞬間がある。RD方向：1.7 T、TD方向：0.6 Tといった大きな楕円磁化を励磁する場合、主磁区の磁化方向が鋼板面内を磁化容易方向から磁化困難方向に回転する瞬間は、磁気異方性エネルギーが非常に大きくなるため、それを緩和するよう反磁界が生じるように磁化状態が変化する。こちらも面外方向への渡り磁束の場合と同様、鋼板内のランセット磁区構造の増加や、結晶粒界における反磁界発生、磁区細分化材においては、歪み導入部に誘起される還流磁区の増加などが生じる。これらにより、楕円磁化における鉄損は、磁化容易方向のみへの交番磁化における鉄損と比べて、鉄損が大幅に増加する。つまり、楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率とラップ部を渡る磁束密度の変化については、同じ反磁界の生成という変化要因のために相関があるのではないかと推定した。

[0025] 上記の考えから、ラップ部を渡る磁束密度、あるいは楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率は、鋼板内のランセット磁区構造の増加や、結晶粒界における反磁界発生、溝形成による耐熱型磁区細分化材においては、溝形成部における漏れ磁束の増加といった要因をパラメータ化することで、その大小を推定できるのではないかと考えた。具体的には、

[0026] (i) 鋼板内のランセット磁区量を表すパラメータ： $\sin \beta$

β ：二次再結晶粒の平均 β 角（°）

二次再結晶粒の平均 β 角が大きくなると、 $\sin \beta$ に比例して静磁エネル

ギーが増加し、それを緩和しようとランセット磁区量が増加すると考えられる。

[0027] (i i) 結晶粒界における反磁界発生： $4 t / R$

t ：鋼板板厚 (mm)

R ：二次再結晶粒径 (mm)

鋼板面単位面積当たりの粒界面積割合 $4 t / R$ に応じて、粒界に生じる反磁界は大きくなると考えられる。

[0028] (i i i) 溝形成部における漏れ磁束の増加： $(w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3}$

a ：圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔 (mm)

w ：溝の圧延方向幅 (μm)

d ：溝の深さ (mm)

鋼板面単位面積当たり溝形成部の面積は $(w / a) \times 10^{-3}$ となる。さらに板厚に対する溝深さ d / t に応じて、漏れ磁束は大きくなると考える。

[0029] 3つの要因を足し合わせた、 $\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3}$ というパラメータで、0.18 mm 厚～0.30 mm 厚までの種々の素材要因が異なる材料で、楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率を整理した。素材要因と測定結果を表2に、本発明パラメータ $[\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3}]$ と鉄損劣化率の関係を図12にまとめた。図12に示すように、本発明パラメータが大きくなるに従い、楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率は減少した。さらに、各板厚においてラップ部を渡る磁束密度が小さくなり、接合部ラップ部における鉄損が小さい鉄損劣化率範囲を満たす為には、本発明パラメータが0.080以上であることが知見された。

[0030] 磁化力800 A/mにおける磁束密度 B_8 が大きい、つまり G_{oss} 方位への集積度が高い素材を用いた巻鉄心では、素材の磁気特性が良好であっても、変圧器自体の磁気特性は逆に劣化する場合がある。特に B_8 が1.91 T以上となる非常に G_{oss} 方位集積度が高い方向性電磁鋼板を用いた巻鉄

心では、透磁率が高いが故に、過度な内周側への磁束集中が生じ、結果としてBFが大きくなることがある。

[0031] さらにB8が大きい、非常にGoss方位集積度が高い素材は、二次再結晶粒が粗大になる傾向にあり、二次再結晶粒径Rが40mm以上と粗大なることもある。すると、結晶粒界における反磁界発生が小さく、上述したように楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が大きくなり、結果BFが大きくなってしまう。

[0032] 一方、本発明パラメータを0.080以上の範囲に制御することによって、B8が1.91T以上、二次再結晶粒径Rが40mm以上となった場合でも、BFを小さく抑えることができる。結果、B8が1.91T以上、二次再結晶粒径Rが40mm以上かつ本発明パラメータを0.080以上の範囲に制御することで、素材の磁気特性（鉄損）が非常に小さく、かつBFも小さい、変圧器において極めて低鉄損となる方向性電磁鋼板を提供できる。

[0033]

[表2]

条件	β : 二次再結晶粒の平均 β 角($^\circ$)	t: 銅板板厚(mm)	R: 二次再結晶粒径(mm)	a: 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔(mm)	w: 溝の圧延方向巾(μ m)	d: 溝の深さ(mm)	本発明パラメータ*1	W_D *2 (W/kg)	W_A *3 (W/kg)	鉄損劣化率*4 (%)
1	2.5	0.18	21	3	200	0.023	0.138	0.66	0.94	42
2	2.4	0.18	22	4	200	0.022	0.118	0.67	0.96	43
3	2.5	0.18	23	4	180	0.018	0.107	0.65	0.97	49
4	2.4	0.18	21	5	150	0.015	0.094	0.64	0.96	50
5	2.3	0.18	22	6	150	0.014	0.087	0.68	1.03	51
6	2.2	0.18	23	5	120	0.015	0.084	0.68	1.04	53
7	2.5	0.18	25	5	100	0.014	0.083	0.69	1.07	55
8	2.4	0.18	24	5	80	0.015	0.081	0.68	1.08	59
9	2.1	0.18	26	5	80	0.015	0.074	0.67	1.09	63
10	1.8	0.18	28	5	50	0.015	0.063	0.67	1.12	67
11	2.5	0.20	18	3	180	0.022	0.135	0.69	0.96	39
12	2.4	0.20	17	3	180	0.020	0.131	0.70	0.99	41
13	2.2	0.20	16	3	160	0.019	0.124	0.71	1.01	42
14	2.3	0.20	20	4	140	0.023	0.109	0.71	1.02	44
15	2.1	0.20	19	4	120	0.020	0.100	0.71	1.03	45
16	2.2	0.20	21	4	120	0.015	0.092	0.70	1.05	50
17	2.3	0.20	22	5	100	0.017	0.089	0.70	1.07	53
18	2.0	0.20	20	5	80	0.015	0.083	0.71	1.12	58
19	1.9	0.20	22	5	70	0.015	0.077	0.71	1.14	61
20	1.8	0.20	25	5	70	0.015	0.071	0.71	1.18	66
21	2.5	0.23	17	4	180	0.025	0.132	0.72	0.97	35
22	2.3	0.23	21	4	150	0.025	0.113	0.73	1.05	44
23	2.4	0.23	19	4	150	0.018	0.111	0.74	1.06	43
24	2.2	0.23	18	4	120	0.020	0.108	0.73	1.08	48
25	2.5	0.23	20	4	120	0.018	0.106	0.73	1.09	49
26	2.6	0.23	21	4	100	0.020	0.105	0.75	1.12	49
27	2.1	0.23	25	3	80	0.025	0.094	0.73	1.11	52
28	1.9	0.23	26	3	80	0.018	0.083	0.73	1.12	53
29	1.7	0.23	26	3	80	0.017	0.079	0.72	1.14	58
30	1.7	0.23	28	3	80	0.018	0.077	0.72	1.16	61
31	2.4	0.27	18	4	150	0.025	0.126	0.81	1.06	31
32	2.2	0.27	23	4	120	0.025	0.105	0.80	1.09	36
33	2.1	0.27	21	4	120	0.018	0.102	0.81	1.12	38
34	2.3	0.27	25	4	100	0.020	0.096	0.81	1.14	41
35	2.3	0.27	26	4	100	0.018	0.093	0.82	1.16	41
36	2.1	0.27	24	4	80	0.020	0.092	0.82	1.18	44
37	1.8	0.27	28	3	80	0.025	0.087	0.80	1.18	48
38	1.6	0.27	25	3	80	0.018	0.084	0.80	1.19	49
39	1.9	0.27	28	5	60	0.017	0.077	0.82	1.24	51
40	1.7	0.27	27	5	60	0.018	0.075	0.82	1.26	54
41	2.2	0.30	17	4	200	0.028	0.142	0.91	1.19	31
42	2.1	0.30	18	3	180	0.025	0.139	0.93	1.23	32
43	1.9	0.30	16	4	180	0.026	0.136	0.93	1.24	33
44	2.3	0.30	21	4	150	0.027	0.121	0.92	1.27	38
45	2.2	0.30	24	4	150	0.022	0.108	0.92	1.29	40
46	2.0	0.30	32	4	120	0.025	0.090	0.90	1.30	44
47	1.6	0.30	27	3	100	0.021	0.089	0.89	1.31	47
48	1.6	0.30	31	3	80	0.024	0.082	0.89	1.32	48
49	1.9	0.30	36	5	80	0.025	0.076	0.91	1.38	52
50	1.8	0.30	38	6	80	0.025	0.071	0.94	1.45	54

*1 $\sin \beta + 4t/R + (w/a/\sqrt{2}) \times (10d/t) \times 10^{-3}$: 下線は本発明パラメータを満たさないことを示す。

*2 RD方向: 1.7Tの50Hz交番磁化をかけた場合の鉄損

*3 RD方向: 1.7T、TD方向: 0.6Tとなる50Hz楕円磁化をかけた場合の鉄損

*4 $(W_A - W_B)/W_B \times 100$ 楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率: 下線は本発明の範囲外であることを示す。

[0034] 以上の知見を基に、本発明の完成に至った。すなわち、本発明は以下の構成を備える。

〔１〕変圧器の巻鉄心に用いる方向性電磁鋼板であって、
該鋼板の板厚 t と、該鋼板に下記（１）式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が、以下の関係を満たすことを特徴とする方向性電磁鋼板。

板厚 $t \leq 0.20 \text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 60 % 以下

$0.20 \text{ mm} < \text{板厚 } t < 0.27 \text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 55 % 以下

$0.27 \text{ mm} \leq \text{板厚 } t$ の場合、鉄損劣化率が 50 % 以下

$$(\text{楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率}) = ((W_A - W_B) / W_B) \times 100 \dots (1)$$

ただし、（１）式中、 W_A は、RD 方向（圧延方向）に 1.7 T、TD 方向（圧延方向に直角な方向）に 0.6 T となる 50 Hz 楕円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、RD 方向に 1.7 T の 50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損である。

〔２〕該鋼板表面に、圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝が形成され、

前記溝の圧延方向幅 w と、前記溝の深さ d と、該鋼板の二次再結晶粒径 R と、該鋼板の二次再結晶粒の平均 β 角との関係が、下記（２）式の間係を満たすことを特徴とする、〔１〕に記載の方向性電磁鋼板。

〔数１〕

$$\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3} \geq 0.080 \dots (2)$$

ただし、（２）式中、

β : 二次再結晶粒の平均 β 角 (°)

t : 鋼板板厚 (mm)

R : 二次再結晶粒径 (mm)

a : 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔 (mm)

w : 溝の圧延方向幅 ($\mu \text{ m}$)

d : 溝の深さ (mm)

である。

〔３〕磁化力 800 A/m における磁束密度 B_8 が 1.91 T 以上であり、かつ、二次再結晶粒径 R が 40 mm 以上である、〔１〕または〔２〕に記載

の方向性電磁鋼板。

〔４〕上記〔１〕～〔３〕のいずれかに記載の方向性電磁鋼板を用いてなることを特徴とする変圧器の巻鉄心。

〔５〕巻鉄心変圧器の鉄損値を、該巻鉄心の素材である方向性電磁鋼板の鉄損値で除して求められるビルディングファクタを小さくする巻鉄心変圧器の巻鉄心の製造方法であって、

方向性電磁鋼板を巻き重ねて巻鉄心とする際に、該鋼板として、該鋼板の板厚 t と該鋼板に下記（１）式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が、以下の関係を満たす方向性電磁鋼板を用いることを特徴とする巻鉄心の製造方法。

板厚 $t \leq 0.20 \text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 60 % 以下

$0.20 \text{ mm} < \text{板厚 } t < 0.27 \text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 55 % 以下

$0.27 \text{ mm} \leq \text{板厚 } t$ の場合、鉄損劣化率が 50 % 以下

$$(\text{楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率}) = ((W_A - W_B) / W_B) \times 100 \dots (1)$$

ただし、（１）式中、 W_A は、RD 方向（圧延方向）に 1.7 T、TD 方向（圧延方向に直角な方向）に 0.6 T となる 50 Hz 楕円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、RD 方向に 1.7 T の 50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損である。

〔６〕該鋼板表面に、圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝が形成され、

前記溝の圧延方向幅 w と、前記溝の深さ d と、該鋼板の二次再結晶粒径 R と、該鋼板の二次再結晶粒の平均 β 角との関係が、下記（２）式の間係を満たすことを特徴とする、〔５〕に記載の巻鉄心の製造方法。

[数2]

$$\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3} \geq 0.080 \cdots (2)$$

ただし、(2) 式中、

β : 二次再結晶粒の平均 β 角 (°)

t : 鋼板板厚 (mm)

R : 二次再結晶粒径 (mm)

a : 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔 (mm)

w : 溝の圧延方向幅 (μ m)

d : 溝の深さ (mm)

である。

[7] 磁化力 800 A/m における磁束密度 B_8 が 1.91 T 以上であり、かつ、二次再結晶粒径 R が 40 mm 以上である方向性電磁鋼板を用いる、[5] または [6] に記載の巻鉄心の製造方法。

発明の効果

[0035] 本発明によれば、変圧器の巻鉄心に用いた場合に、変圧器鉄損の低減効果に優れる方向性電磁鋼板を提供することができる。

本発明によれば、変圧器鉄心として用いられる方向性電磁鋼板の特性を制御することで、内巻コアと外巻コアの間の層間渡り及びラップ接合部における磁気抵抗を低減し、変圧器鉄心の設計に関わらず、巻鉄心変圧器における変圧器鉄損を低減することができる。

本発明によれば、巻鉄心変圧器の巻鉄心を本発明の方向性電磁鋼板を素材として構成することで、ビルディングファクタの小さい巻鉄心変圧器が得られる。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]内巻コアと外巻コアが同時に励磁された場合における、内巻コアでの鉄損の増加を説明する模式図である。

[図2]内巻コアと外巻コアの間に生じる層間の磁束渡りを説明する模式図である。

[図3]巻鉄心のラップ接合部を説明する模式図である。

[図4]調査に用いた巻鉄心の構成を示す模式図である。

[図5]内巻コアと外巻コアの間の層間渡り部及びラップ接合部を説明する模式図である。

[図6]ラップ接合部における磁束の流れを説明する模式図である。

[図7]0.18mm厚材に楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率と層間渡り部の鉄損の関係を示すグラフである。

[図8]0.20mm厚材に楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率と層間渡り部の鉄損の関係を示すグラフである。

[図9]0.23mm厚材に楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率と層間渡り部の鉄損の関係を示すグラフである。

[図10]0.27mm厚材に楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率と層間渡り部の鉄損の関係を示すグラフである。

[図11]0.30mm厚材に楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率と層間渡り部の鉄損の関係を示すグラフである。

[図12]本発明パラメータ $[\sin \beta + 4t/R + (w/a/\sqrt{2}) \times (10d/t) \times 10^{-3}]$ と鉄損劣化率の関係を示すグラフである。

[図13]二次再結晶粒の平均 β 角を制御する方法の一例を説明する模式図である。

[図14]実施例で作製した巻鉄心A～Cの構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0037] 以下、本発明の詳細を説明する。上述の通り、巻変圧器鉄心に用いられた場合に変圧器鉄損が優れる方向性電磁鋼板は、以下の条件を満たす必要がある。

[0038] 方向性電磁鋼板（素材）の板厚 t と、該鋼板に下記（1）式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が、以下の関係を満たす。

板厚 $t \leq 0.20\text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が60%以下

$0.20\text{ mm} < \text{板厚 } t < 0.27\text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が55%以下

$0.27\text{ mm} \leq \text{板厚 } t$ の場合、鉄損劣化率が50%以下

[0039] (橢円磁化をかけた場合の鉄損劣化率) = $(W_A - W_B) / W_B \times 100$
 . . . (1)

ただし、(1) 式中、 W_A は、RD方向(圧延方向)に1.7 T、TD方向(圧延方向に直角な方向)に0.6 Tとなる50 Hz 橢円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、RD方向に1.7 Tの50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損である。

[0040] 上記(1) 式中の鉄損は以下のように測定する。

[0041] (W_A : RD方向に1.7 T、TD方向に0.6 Tとなる50 Hz 橢円磁化をかけた場合の鉄損)

W_A は、非特許文献2などに記載がある、二次元単板磁気測定装置(2D-SS T)を用いて、測定を行う。方向性電磁鋼板(素材)のRD方向に最大磁束密度1.7 T、TD方向に最大磁束密度0.6 Tとなる50 Hz 正弦波励磁を行い、RD方向とTD方向の正弦波励磁の位相差を90° とすることで橢円磁化励磁を行う。この際、橢円磁化の回転方向は、時計回りと反時計回りがあるが、両者における鉄損測定値には差があることが指摘されており、両者の測定を実施したうえで平均値をとる。鉄損測定方法は探針法、Hコイル法など種々の方法が提案されているが、いずれの方法を用いても良い。また励磁に際しては、RD方向は最大磁束密度1.7 T、TD方向は最大磁束密度0.6 Tとなるよう、励磁電圧のフィードバック制御を行うが、磁束密度が最大となる瞬間以外は磁束波形が正弦波より若干歪む場合でも、波形制御は行わない。測定試料は二次元単板磁気測定装置の励磁可能サイズによるが、1試料に含まれる結晶粒の数を考慮して、(50 mm × 50 mm)以上が好ましい。また、測定値のバラつきを考慮し、1素材につき30枚以上の試料を測定し平均することが好ましい。

[0042] (W_B : RD方向に1.7 Tの50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損)

W_B は、上記の橢円磁化をかけた測定を行った試料と同じ試料を、同じ測定装置を使って測定する。RD方向のみに最大磁束密度1.7 T、50 Hz 正弦波励磁を行う。励磁に際しては、RD方向最大磁束密度1.7 Tとなるよ

うな、励磁電圧のフィードバック制御を行い、TD方向には制御を行わない。

[0043] 楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率を上記範囲内に納めるためには、方向性電磁鋼板（素材）表面に、圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝を形成し、その溝の圧延方向幅 w と、溝の深さ d と、該鋼板の二次再結晶粒径 R と、該鋼板の二次再結晶粒の平均 β 角との関係が、以下の（２）式の関係を満たすことが好適である。

[0044] [数3]

$$\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3} \geq 0.080 \cdots (2)$$

ただし、（２）式中、
 β ：二次再結晶粒の平均 β 角（°）
 t ：鋼板板厚（mm）
 R ：二次再結晶粒径（mm）
 a ：圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔（mm）
 w ：溝の圧延方向幅（ μ m）
 d ：溝の深さ（mm）
 である。

[0045] 上記（２）式中の素材特性は以下のように、測定する。

[0046] β ：二次再結晶粒の平均 β 角（°）

鋼板の圧延方向を向く二次再結晶粒の〈100〉軸の圧延面となす角を β 角と定義される。鋼板の二次再結晶方位をX線結晶回折にて測定する。鋼板内の二次再結晶粒の方位にはバラつきがあるので、RD、TDそれぞれ10mmピッチのポイントで測定し、（500mm×500mm）以上の測定領域データを平均することで求める。

[0047] R ：二次再結晶粒径（mm）

鋼板表面上の被膜をなんらかの化学的、電気的手法で除去し、二次再結晶粒径を測定する。（500mm×500mm）以上の測定領域に存在する、1mm²程度以上の大きさの結晶粒個数を目視、あるいはデジタル画像処理により測定し、二次再結晶粒1個の平均面積を求める。その平均面積より、円

相当径（直径）を計算し、二次再結晶粒径を求める。

[0048] a : 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔 (mm)

直線状の溝同士のRD方向の間隔で定義する。線間隔（溝の間隔）が一定でない場合には、長手方向500mmで5箇所を調査し、その平均とする。さらに、鋼板幅方向で線間隔が変わる場合には、その平均とする。

[0049] w : 溝の圧延方向幅 (μm)

鋼板表面を顕微鏡観察し測定する。溝の圧延方向幅は必ずしも一定とは限らないので、線列方向100mm試料内において5箇所以上を観察し、平均をその線列における溝の圧延方向幅とする。さらに、長手方向500mmの試料内において線列5箇所以上を観察し、平均し求めることとする。

[0050] d : 溝の深さ (mm)

溝部の鋼板断面を顕微鏡観察することで測定する。溝の深さは必ずしも一定とは限らないので、線列方向100mm試料内において5箇所以上を観察し、平均をその線列における溝の深さとする。さらに、長手方向500mmの試料内において線列5箇所以上を観察し、平均し求めることとする。

[0051] 上記の関係を満たす方向性電磁鋼板の作製方法について述べる。下記以外の方法でも、それぞれのパラメータを制御し、結果上記(2)式を満たすことができれば、特にその製造方法を限定するものではない。

[0052] 二次再結晶粒の平均 β 角については、一次再結晶組織の制御、仕上げ焼鈍時のコイルセット等により制御できる。例えば、図13に示すように、コイルセットがついた状態で、仕上げ焼鈍を行うと、その状態では、結晶粒内の $\langle 001 \rangle$ 方向は一様である。その後、平坦化焼鈍を行い、コイルがフラットな状態になると、一つの結晶粒内において、仕上げ焼鈍時のコイルセットに応じて、 $\langle 001 \rangle$ 方向が板厚方向に傾き、 β 角は大きくなる。つまり、コイルセットが小さい程、平坦化焼鈍の β 角は大きくなる。 β 角が大きくなりすぎると、素材の磁束密度B8が小さくなり、履歴損が劣化するので、 β 角は 5° 以下が望ましい。

[0053] 二次再結晶粒径 (mm) については、一次再結晶粒中のGoss方位粒の

存在量により制御できる。例えば、冷間圧延時の最終圧下率を大きくしたり、圧延時の摩擦を増加させることなどで、一次再結晶粒前に導入される剪断歪み量を増加させることで、一次再結晶粒中のGoss方位粒を増やすことができる。また、一次再結晶焼鈍の際の昇温速度をコントロールすることでも、一次再結晶粒中のGoss方位粒の存在量を制御できる。一次再結晶粒中のGoss方位粒は、仕上げ焼鈍中での二次再結晶核となるので、その数が多い程、二次再結晶粒は多くなり、結果、二次再結晶粒径は小さくなる。

[0054] 磁区細分化効果を意図した、圧延方向と交差する方向に伸びる複数の溝の形成の方法については、(i)冷間圧延板に溝形成部以外にレジストインキを塗布、さらに電解研磨を施すことで溝を形成、その後レジストインキを剥離するエッチング法、(ii)仕上げ焼鈍済みの鋼板に対して、 $882 \sim 2156 \text{ MPa}$ ($90 \sim 220 \text{ kgf/mm}^2$)の荷重で地鉄部分に深さ： $5 \mu\text{m}$ 超の溝を形成したのち、 750°C 以上の温度で加熱処理することにより、磁区を細分化する技術、(iii)1次再結晶あるいは2次再結晶前後のいずれかにおいて、高エネルギー密度レーザの照射により溝形成する方法などが既存の技術としてある。本発明においては、いずれの溝形成方法も適用することができる。荷重印加する方法においては、歯車ロールの摩耗の制御が、また高エネルギー密度レーザの照射による溝形成法では、溶融した鉄の除去が、製造上の課題となるため、冷間圧延板段階の電解エッチングにより溝形成することが好ましい。

[0055] 冷間圧延板段階の電解エッチングによる溝形成を例に具体的な製造方法について説明する。溝の圧延方向幅については、レジストインキ未塗布部の幅制御で制御できる。その際には、レジストインキの濡れ広がりや、レジストインキ塗布ロールのパターニングの制御を行うことで、鋼板幅方向に均一溝幅をもつ直線上溝を形成することができる。その後の、電解エッチングの条件にて、溝の深さを制御できる。具体的には、電解エッチングの時間、電流密度を調整することで溝深さを制御する。

[0056] 溝の圧延方向幅については、上記(2)式を満たすことができれば、特に

限定するものではないが、狭すぎると磁極のカップリングが起き磁区細分化効果が十分に得られず、逆に広すぎると鋼板の磁束密度 B_8 を減少させるので、 $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上、 $250\text{ }\mu\text{m}$ 以下が望ましい。また、溝深さについても上記(2)式を満たすことができれば、特に限定するものではないが、浅いと磁区細分化効果が十分に得られず、逆に深すぎると鋼板の磁束密度 B_8 を減少させるので、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上、板厚の $1/5$ 以下程度が好ましい。

[0057] 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の溝の間隔については、上記に挙げた方法いずれでもその溝形成間隔を製造過程で制御できる。溝の間隔が広すぎると、それによって得られる磁区細分化効果が減るため、溝の間隔は、 10 mm 以下であることが好ましい。

[0058] 本発明の方向性電磁鋼板の板厚は、特に限定されないが、製造性、二次再結晶の発現安定性等の点から、 0.15 mm 以上であることが好ましく、 0.18 mm 以上であることがより好ましい。また、渦電流損低減等の点から、 0.35 mm 以下であることが好ましく、 0.30 mm 以下であることがより好ましい。

[0059] 本発明の変圧器の巻鉄心に用いる方向性電磁鋼板を製造する方法については、上記特性に直接関係しない事柄については限定されないが、推奨される好適成分組成および上述した本発明のポイント以外の製造方法について、以下に述べる。

[0060] 本発明において、インヒビターを利用する場合、例えば Al-N 系インヒビターを利用する場合であれば Al および N を、また $\text{MnS} \cdot \text{MnSe}$ 系インヒビターを利用する場合であれば Mn と Se および／または S を適量含有させればよい。勿論、両インヒビターを併用してもよい。この場合における Al 、 N 、 S および Se の好適含有量はそれぞれ、 $\text{Al} : 0.01 \sim 0.065$ 質量%、 $\text{N} : 0.005 \sim 0.012$ 質量%、 $\text{S} : 0.005 \sim 0.03$ 質量%、 $\text{Se} : 0.005 \sim 0.03$ 質量%である。

[0061] また、本発明は、 Al 、 N 、 S 、 Se の含有量を制限した、インヒビターを使用しない方向性電磁鋼板にも適用することができる。この場合には、 A

I、N、SおよびSe量はそれぞれ、Al：100質量ppm以下、N：50質量ppm以下、S：50質量ppm以下、Se：50質量ppm以下に抑制することが好ましい。

[0062] その他の基本成分および任意添加成分について述べると、次のとおりである。

[0063] C：0.08質量%以下

C量が0.08質量%を超えると製造工程中に磁気時効の起こらない50質量ppm以下までCを低減することが困難になるため、0.08質量%以下とすることが好ましい。なお、下限に関しては、Cを含まない素材でも二次再結晶が可能であるので特に設ける必要はない。

[0064] Si：2.0～8.0質量%

Siは、鋼の電気抵抗を高め、鉄損を改善するのに有効な元素であるが、含有量が2.0質量%に満たないと十分な鉄損低減効果が達成できず、一方、8.0質量%を超えると加工性が著しく低下し、また磁束密度も低下するため、Si量は2.0～8.0質量%の範囲とすることが好ましい。

[0065] Mn：0.005～1.0質量%

Mnは、熱間加工性を良好にする上で必要な元素であるが、含有量が0.005質量%未満ではその添加効果に乏しく、一方1.0質量%を超えると製品板の磁束密度が低下するため、Mn量は0.005～1.0質量%の範囲とすることが好ましい。

[0066] 上記の基本成分以外に、磁気特性改善成分として、次に述べる元素を適宜含有させることができる。

[0067] Ni：0.03～1.50質量%、Sn：0.01～1.50質量%、Sb：0.005～1.50質量%、Cu：0.03～3.0質量%、P：0.03～0.50質量%、Mo：0.005～0.10質量%およびCr：0.03～1.50質量%のうちから選んだ少なくとも1種

[0068] Niは、熱延板組織を改善して磁気特性を向上させるために有用な元素である。しかしながら、含有量が0.03質量%未満では磁気特性の向上効果

が小さく、一方 1.50 質量%を超えると二次再結晶が不安定になり磁気特性が劣化する。そのため、Ni 量は 0.03 ~ 1.50 質量%の範囲とするのが好ましい。

[0069] また、Sn、Sb、Cu、P、Cr および Mo はそれぞれ磁気特性の向上に有用な元素であるが、いずれも上記した各成分の下限に満たないと、磁気特性の向上効果が小さく、一方、上記した各成分の上限量を超えると、二次再結晶粒の発達が悪化されるため、それぞれ上記の範囲で含有させることが好ましい。なお、上記成分以外の残部は、製造工程において混入する不可避免の不純物および Fe である。

[0070] 上記の好適成分組成に調整した鋼素材を、通常の造塊法、連続鋳造法でスラブとしてもよいし、100 mm 以下の厚さの薄鋳片を直接連続鋳造法で製造してもよい。スラブは、通常の方法で加熱して熱間圧延に供するが、鋳造後加熱せずに直ちに熱間圧延に供してもよい。薄鋳片の場合には熱間圧延してもよいし、熱間圧延を省略してそのまま以後の工程に進めてもよい。ついで、必要に応じて熱延板焼鈍を行ったのち、一回または中間焼鈍を挟む 2 回以上の冷間圧延により最終板厚とし、その後脱炭焼鈍ついで最終仕上げ焼鈍を施したのち、絶縁張力コーティングの塗布、及び平坦化焼鈍を施す。この間、冷間圧延後に電解エッチングにより溝形成をするか、あるいは、冷間圧延後のいずれかの段階において歯車ロールによる荷重付加やレーザ照射により溝形成を行う。また、製品の鋼成分は、脱炭焼鈍により、C が 50 ppm 以下に低減され、さらに仕上焼鈍での純化により、Al、N、S、Se は不可避免の不純物レベルに低減される。

[0071] また、本明細書中では三相三脚励磁型の巻鉄心変圧器における特性について記述しているが、その他の接合部構造を持つ巻鉄心変圧器、例えば三相五脚や、単相励磁型の鉄心に用いられる場合にも好適である。

実施例

[0072] 冷間仕上げ厚 0.18 ~ 0.30 mm の方向性電磁鋼板を、圧下率、一次再結晶焼鈍の昇温速度を変えて作製した。その際、冷間圧延後に種々の条件

で電解エッチング行い溝形成を行い、表 3 に示す素材特性の方向性電磁鋼板が得られた。その電磁鋼板を、本明細書記載の方法にて二次元磁気測定を行い、楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率を測定した。それぞれの材料について、図 1 4 に示す、鉄心形状の変圧器巻鉄心 A ~ C を作製し、鉄心 A については単相巻線を施し、単相にて 1.7 T、50 Hz 励磁における鉄損を、鉄心 B、C については三相巻線を施し、三相にて 1.7 T、50 Hz 励磁における鉄損を測定した。図 1 4 に示す巻鉄心 A は、積厚：22.5 mm、鋼板幅：100 mm、7 段ステップラップ、1 段ラップ代：8 mm、巻鉄心 B は、積厚：20 mm、鋼板幅：100 mm、7 段ステップラップ、1 段ラップ代：5 mm、巻鉄心 C は、積厚：30 mm、鋼板幅：120 mm、7 段ステップラップ、1 段ラップ代：8 mm の形状を有する。楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が本発明範囲を満たす方向性電磁鋼板においては、いずれの鉄心形状においても比較例よりも B F が小さくなった。特に、磁化力 800 A / m における磁束密度 $B_8 \geq 1.91$ T、二次再結晶粒径 $R \geq 40$ mm である方向性電磁鋼板を用いた場合には、素材鉄損が小さいかつ、B F が小さく、変圧器における鉄損が非常に小さかった。

[0073]

[表3]

条件	素材特性			線状の溝		本発明 パラメータ ^{*1}	鉄損 劣化率 ^{*2}	素材磁気特性		鉄心A		鉄心B		鉄心C		備考
	β : 二次再結晶粒の平均 β 角(°)	t: 銅板板厚(mm)	R: 二次再結晶粒径(mm)	a: 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔(mm)	w: 溝の圧延方向幅(μ m)	d: 溝の深さ(mm)		B(T)	素材鉄損 W17/50 (W/kg)	素圧器 鉄損 (W/kg)	BF	素圧器 鉄損 (W/kg)	BF	素圧器 鉄損 (W/kg)	BF	
1	2.3	0.18	24	3	200	0.023	42	1.87	0.65	0.66	1.02	0.85	1.31	0.93	1.43	発明例
2	2.2	0.18	22	4	200	0.022	43	1.86	0.67	0.68	1.01	0.88	1.31	0.96	1.43	発明例
3	2.1	0.18	23	4	180	0.018	48	1.88	0.65	0.66	1.02	0.86	1.32	0.92	1.42	発明例
4	2.3	0.18	21	5	150	0.018	50	1.87	0.68	0.69	1.01	0.90	1.33	0.97	1.43	発明例
5	2.2	0.18	20	5	150	0.015	52	1.87	0.68	0.69	1.01	0.90	1.33	0.97	1.42	発明例
6	2.1	0.18	21	5	120	0.015	56	1.87	0.68	0.69	1.02	0.90	1.33	0.97	1.43	発明例
7	2.6	0.18	24	5	100	0.014	58	1.86	0.70	0.71	1.02	0.93	1.33	0.99	1.41	発明例
8	2.3	0.18	22	5	80	0.015	59	1.88	0.68	0.69	1.01	0.90	1.33	0.97	1.42	発明例
9	2.1	0.18	26	5	90	0.015	53	1.88	0.67	0.70	1.05	0.93	1.39	1.00	1.49	比較例
10	1.8	0.18	28	5	50	0.015	57	1.88	0.67	0.70	1.05	0.94	1.40	1.01	1.50	比較例
11	1.7	0.18	44	3	120	0.022	58	1.91	0.60	0.61	1.01	0.79	1.32	0.85	1.41	発明例(特に好適)
12	1.6	0.18	51	3	180	0.022	49	1.92	0.59	0.58	0.99	0.77	1.31	0.84	1.42	発明例(特に好適)
13	1.3	0.18	38	3	150	0.022	55	1.89	0.64	0.64	1.00	0.83	1.30	0.91	1.42	発明例
14	1.7	0.18	57	5	150	0.015	58	1.92	0.63	0.67	1.07	0.91	1.45	0.98	1.55	比較例
15	2.4	0.20	17	3	160	0.025	40	1.87	0.68	0.69	1.01	0.88	1.29	0.99	1.45	発明例
16	2.3	0.20	18	3	160	0.025	42	1.87	0.67	0.68	1.01	0.86	1.29	0.97	1.45	発明例
17	2.2	0.20	17	3	140	0.022	43	1.88	0.69	0.70	1.02	0.88	1.28	1.01	1.46	発明例
18	2.3	0.20	20	4	140	0.022	44	1.88	0.70	0.71	1.01	0.90	1.28	1.02	1.46	発明例
19	2.1	0.20	19	4	120	0.020	45	1.89	0.71	0.72	1.01	0.91	1.28	1.03	1.45	発明例
20	2.2	0.20	21	4	170	0.015	51	1.88	0.70	0.71	1.01	0.90	1.28	1.03	1.47	発明例
21	2.3	0.20	22	5	100	0.017	54	1.88	0.71	0.71	1.00	0.92	1.29	1.04	1.46	発明例
22	2.0	0.20	20	5	90	0.015	59	1.88	0.71	0.72	1.01	0.92	1.30	1.04	1.46	発明例
23	1.8	0.20	21	5	70	0.015	63	1.89	0.71	0.75	1.06	0.98	1.38	1.08	1.52	比較例
24	1.8	0.20	24	5	70	0.015	67	1.89	0.71	0.75	1.06	0.99	1.39	1.08	1.52	比較例
25	1.4	0.20	42	3	150	0.025	49	1.91	0.65	0.66	1.01	0.83	1.27	0.94	1.45	発明例(特に好適)
26	1.8	0.20	64	3	180	0.022	45	1.92	0.63	0.63	1.00	0.80	1.27	0.92	1.46	発明例(特に好適)
27	1.2	0.20	38	3	150	0.022	55	1.90	0.66	0.67	1.01	0.84	1.28	0.96	1.46	発明例
28	1.3	0.20	54	5	90	0.015	75	1.92	0.66	0.71	1.08	0.92	1.39	1.05	1.59	比較例
29	2.5	0.23	18	3	180	0.025	38	1.86	0.74	0.75	1.01	0.94	1.27	1.09	1.47	発明例
30	2.2	0.23	21	3	150	0.025	42	1.87	0.75	0.76	1.01	0.95	1.26	1.10	1.47	発明例
31	2.3	0.23	19	3	150	0.018	43	1.87	0.75	0.75	1.00	0.95	1.26	1.10	1.47	発明例
32	2.2	0.23	18	4	120	0.021	46	1.88	0.76	0.77	1.01	0.96	1.26	1.12	1.48	発明例
33	2.5	0.23	21	4	120	0.019	47	1.87	0.76	0.77	1.01	0.97	1.27	1.12	1.48	発明例
34	2.4	0.23	22	4	100	0.020	48	1.87	0.77	0.78	1.01	0.98	1.27	1.14	1.48	発明例
35	2.0	0.23	24	3	80	0.025	53	1.88	0.74	0.75	1.01	0.93	1.26	1.09	1.47	発明例
36	1.8	0.23	26	3	80	0.020	54	1.88	0.73	0.74	1.02	0.93	1.28	1.08	1.48	発明例
37	1.7	0.23	28	3	80	0.017	57	1.89	0.74	0.78	1.05	1.00	1.35	1.14	1.54	比較例
38	1.7	0.23	28	4	80	0.018	62	1.90	0.75	0.79	1.05	1.01	1.35	1.16	1.55	比較例
39	1.9	0.23	49	3	150	0.025	50	1.92	0.69	0.69	1.00	0.87	1.26	1.02	1.48	発明例(特に好適)
40	1.8	0.23	75	3	200	0.022	49	1.93	0.68	0.69	1.01	0.85	1.25	1.00	1.47	発明例(特に好適)
41	1.7	0.23	38	3	170	0.022	47	1.90	0.72	0.73	1.01	0.91	1.26	1.06	1.47	発明例
42	1.8	0.23	62	4	90	0.02	62	1.92	0.68	0.73	1.08	0.97	1.42	1.10	1.62	比較例
43	2.3	0.27	17	3	150	0.027	32	1.88	0.83	0.83	1.00	1.03	1.24	1.21	1.46	発明例
44	2.1	0.27	21	3	120	0.026	37	1.89	0.82	0.83	1.01	1.02	1.24	1.21	1.47	発明例
45	2.2	0.27	22	3	120	0.020	39	1.89	0.81	0.81	1.00	1.01	1.25	1.18	1.46	発明例
46	2.2	0.27	23	4	100	0.019	42	1.88	0.83	0.83	1.01	1.03	1.24	1.22	1.47	発明例
47	2.3	0.27	24	4	80	0.018	43	1.89	0.83	0.83	1.01	1.04	1.25	1.22	1.47	発明例
48	2.0	0.27	25	4	80	0.020	44	1.89	0.84	0.85	1.01	1.04	1.24	1.23	1.47	発明例
49	1.7	0.27	27	3	80	0.020	48	1.89	0.85	0.86	1.01	1.06	1.25	1.25	1.47	発明例
50	1.7	0.27	29	3	80	0.020	49	1.89	0.84	0.85	1.02	1.05	1.25	1.23	1.47	発明例
51	1.8	0.27	27	5	60	0.017	52	1.89	0.85	0.90	1.06	1.12	1.32	1.33	1.56	比較例
52	1.6	0.27	26	5	60	0.018	54	1.89	0.82	0.87	1.06	1.09	1.33	1.28	1.56	比較例
53	1.7	0.27	45	3	120	0.029	48	1.92	0.77	0.77	1.00	0.96	1.25	1.12	1.46	発明例(特に好適)
54	1.3	0.27	68	3	150	0.032	49	1.93	0.75	0.75	1.00	0.94	1.25	1.10	1.47	発明例(特に好適)
55	1.8	0.27	37	3	150	0.025	43	1.90	0.80	0.81	1.01	0.99	1.24	1.17	1.46	発明例
56	1.8	0.27	58	4	120	0.024	54	1.93	0.77	0.85	1.10	1.06	1.38	1.25	1.62	比較例
57	2.1	0.30	16	4	200	0.032	28	1.90	0.91	0.91	1.00	1.11	1.22	1.34	1.47	発明例
58	2.0	0.30	17	3	180	0.028	32	1.90	0.93	0.93	1.01	1.13	1.21	1.38	1.48	発明例
59	1.8	0.30	15	4	180	0.025	34	1.90	0.92	0.92	1.00	1.13	1.23	1.37	1.49	発明例
60	2.2	0.30	20	4	150	0.027	38	1.89	0.92	0.92	1.00	1.12	1.22	1.37	1.49	発明例
61	2.1	0.30	23	4	150	0.022	41	1.90	0.92	0.93	1.01	1.12	1.22	1.36	1.48	発明例
62	1.9	0.30	31	4	120	0.025	45	1.90	0.93	0.93	1.00	1.13	1.22	1.39	1.49	発明例
63	1.8	0.30	28	3	100	0.021	47	1.90	0.94	0.95	1.01	1.16	1.23	1.40	1.49	発明例
64	1.7	0.30	32	3	80	0.024	49	1.90	0.95	0.96	1.01	1.17	1.23	1.42	1.49	発明例
65	1.8	0.30	35	5	80	0.025	52	1.90	0.96	1.01	1.05	1.24	1.29	1.51	1.57	比較例
66	1.8	0.30	37	6	80	0.025	55	1.90	0.97	1.03	1.06	1.25	1.29	1.53	1.58	比較例
67	1.5	0.30	49	3	150	0.033	41	1.93	0.85	0.85	1.00	1.05	1.23	1.25	1.47	発明例(特に好適)
68	1.6	0.30	62	3	180	0.035	44	1.92	0.86	0.87	1.01	1.05	1.22	1.27	1.48	発明例(特に好適)
69	1.7	0.30	34	3	150	0.032	40	1.90	0.91	0.91	1.00	1.12	1.23	1.34	1.47	発明例
70	1.9	0.30	63	5	120	0.027	53	1.94	0.86	0.96	1.12	1.16	1.35	1.43	1.66	比較例

* 1 $\sin \beta + 4t/R + (w/a/\sqrt{2}) \times (10d/t) \times 10^{-2}$: 下線は本発明パラメータを満たさないことを示す。

* 2 溝内磁化をかけた場合の鉄損劣化率: 下線は本発明の範囲外であることを示す。

請求の範囲

- [請求項1] 変圧器の巻鉄心に用いる方向性電磁鋼板であって、
 該鋼板の板厚 t と、該鋼板に下記（１）式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が、以下の関係を満たす方向性電磁鋼板。
 板厚 $t \leq 0.20$ mm の場合、鉄損劣化率が 60 % 以下
 $0.20 \text{ mm} < \text{板厚 } t < 0.27 \text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 55 % 以下
 $0.27 \text{ mm} \leq \text{板厚 } t$ の場合、鉄損劣化率が 50 % 以下
 （楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率）＝（ $(W_A - W_B) / W_B$ ）×
 100 ……（１）
 ただし、（１）式中、 W_A は、RD 方向（圧延方向）に 1.7 T、TD 方向（圧延方向に直角な方向）に 0.6 T となる 50 Hz 楕円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、RD 方向に 1.7 T の 50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損である。
- [請求項2] 該鋼板表面に、圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝が形成され、
 前記溝の圧延方向幅 w と、前記溝の深さ d と、該鋼板の二次再結晶粒径 R と、該鋼板の二次再結晶粒の平均 β 角との関係が、下記（２）式
 の関係を満たす、請求項 1 に記載の方向性電磁鋼板。
 [数1]

$$\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3} \geq 0.080 \cdots (2)$$

 ただし、（２）式中、
 β : 二次再結晶粒の平均 β 角（°）
 t : 鋼板板厚（mm）
 R : 二次再結晶粒径（mm）
 a : 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔（mm）
 w : 溝の圧延方向幅（ μ m）
 d : 溝の深さ（mm）
 である。
- [請求項3] 磁化力 800 A / m における磁束密度 B_8 が 1.91 T 以上であり、

かつ、二次再結晶粒径 R が $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上である、請求項 1 または 2 に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項4] 請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の方向性電磁鋼板を用いてなる変圧器の巻鉄心。

[請求項5] 巻鉄心変圧器の鉄損値を、該巻鉄心の素材である方向性電磁鋼板の鉄損値で除して求められるビルディングファクタを小さくする巻鉄心変圧器の巻鉄心の製造方法であって、
方向性電磁鋼板を巻き重ねて巻鉄心とする際に、該鋼板として、該鋼板の板厚 t と該鋼板に下記（１）式で定義される楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率が、以下の関係を満たす方向性電磁鋼板を用いる巻鉄心の製造方法。

板厚 $t \leq 0.20\text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 60% 以下

$0.20\text{ mm} < \text{板厚 } t < 0.27\text{ mm}$ の場合、鉄損劣化率が 55% 以下

$0.27\text{ mm} \leq \text{板厚 } t$ の場合、鉄損劣化率が 50% 以下

$$(\text{楕円磁化をかけた場合の鉄損劣化率}) = ((W_A - W_B) / W_B) \times 100 \quad \dots (1)$$

ただし、（１）式中、 W_A は、 RD 方向（圧延方向）に 1.7 T 、 TD 方向（圧延方向に直角な方向）に 0.6 T となる 50 Hz 楕円磁化をかけた場合の鉄損であり、 W_B は、 RD 方向に 1.7 T の 50 Hz 交番磁化をかけた場合の鉄損である。

[請求項6] 該鋼板表面に、圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝が形成され、

前記溝の圧延方向幅 w と、前記溝の深さ d と、該鋼板の二次再結晶粒径 R と、該鋼板の二次再結晶粒の平均 β 角との関係が、下記（２）式
の関係を満たす、請求項 5 に記載の巻鉄心の製造方法。

[数2]

$$\sin \beta + 4 t / R + (w / a / \sqrt{2}) \times (10 d / t) \times 10^{-3} \geq 0.080 \cdots (2)$$

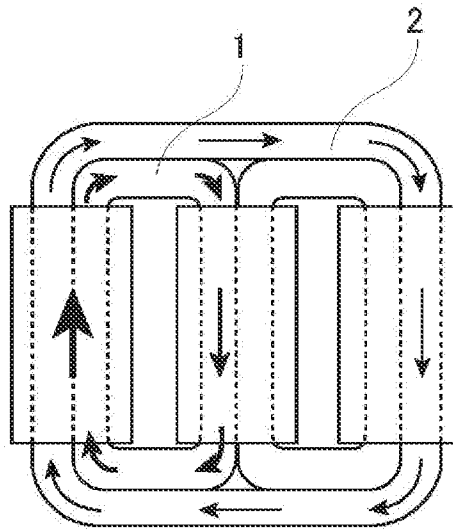
ただし、(2)式中、

 β : 二次再結晶粒の平均 β 角 (°) t : 鋼板板厚 (mm) R : 二次再結晶粒径 (mm) a : 圧延方向と交差する方向に伸びる複数の直線状の溝の間隔 (mm) w : 溝の圧延方向幅 (μ m) d : 溝の深さ (mm)

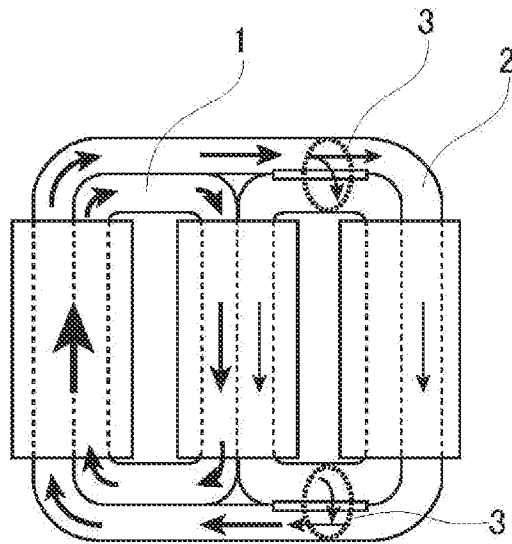
である。

[請求項7] 磁化力 800 A/m における磁束密度 B_8 が 1.91 T 以上であり、
かつ、二次再結晶粒径 R が 40 mm 以上である方向性電磁鋼板を用い
る、請求項 5 または 6 に記載の巻鉄心の製造方法。

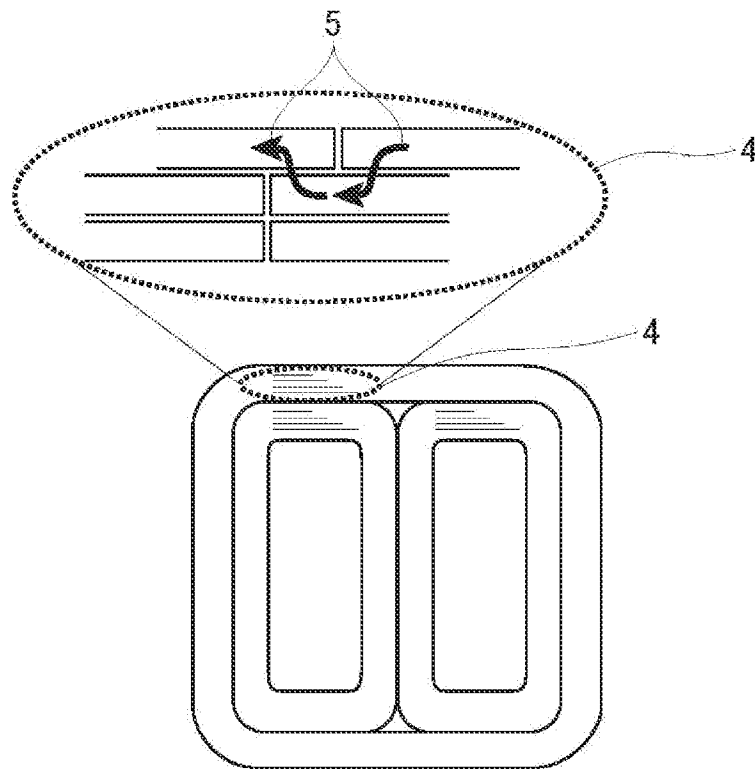
[図1]



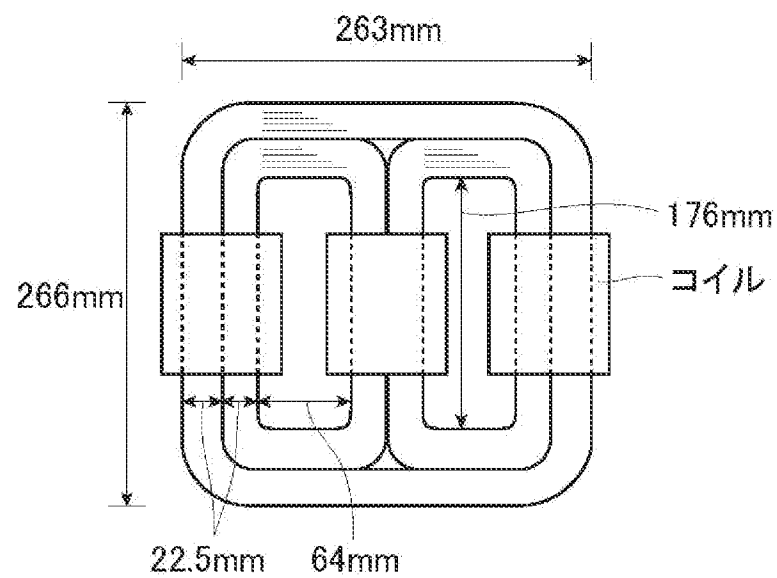
[図2]



[図3]

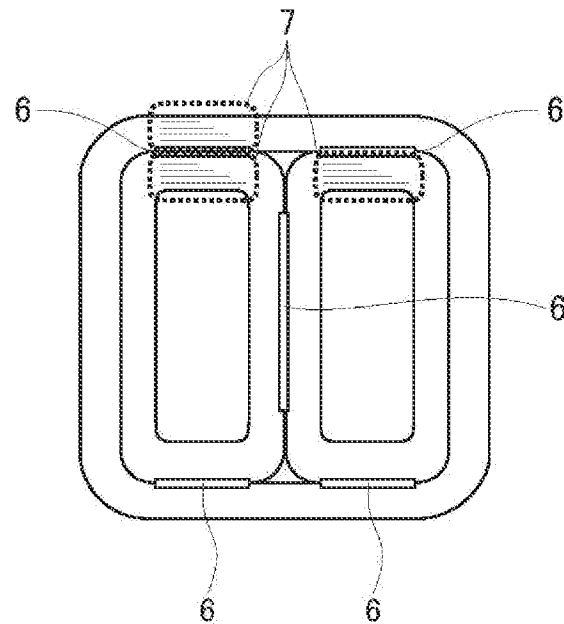


[図4]

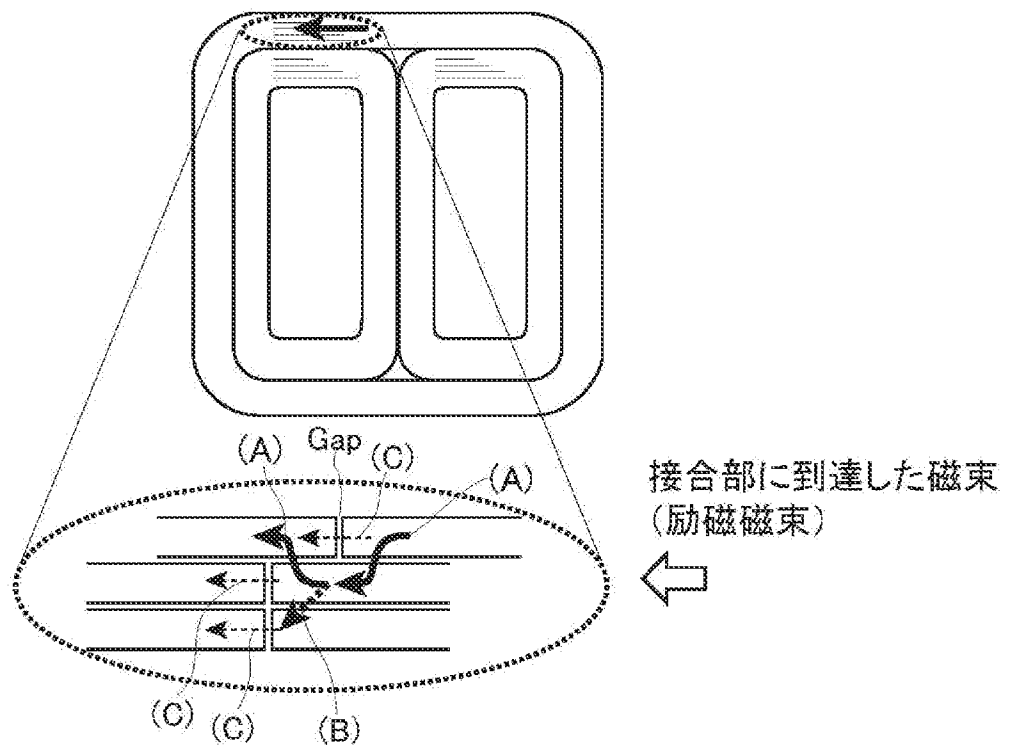


積厚: 22.5mm
 鋼板幅: 100mm
 7段ステップラップ
 1段ラップ代 2, 4, 6mm

[図5]

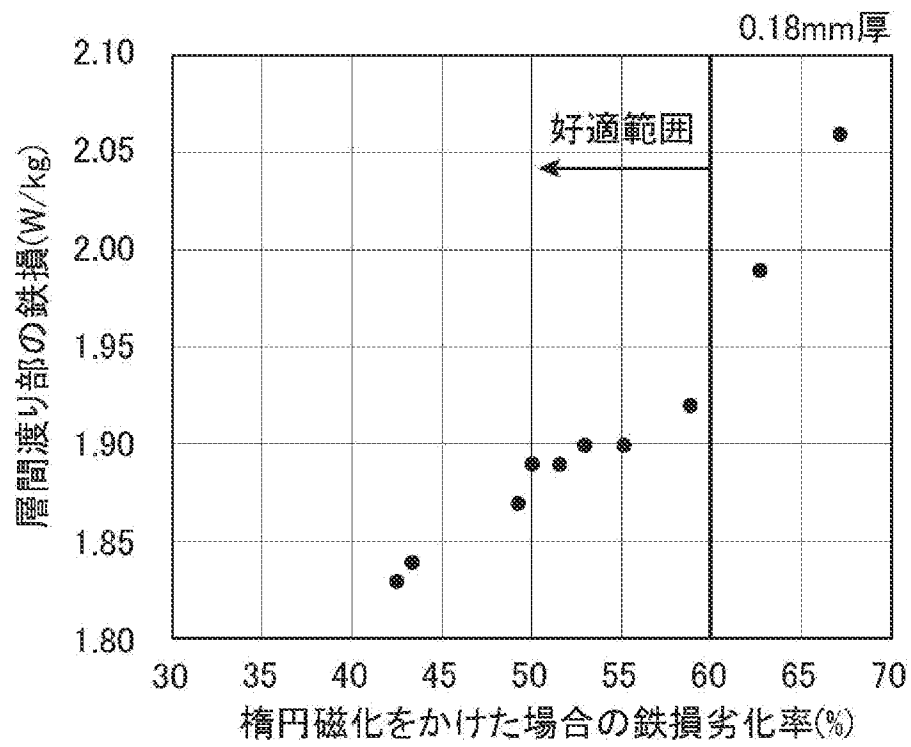


[図6]

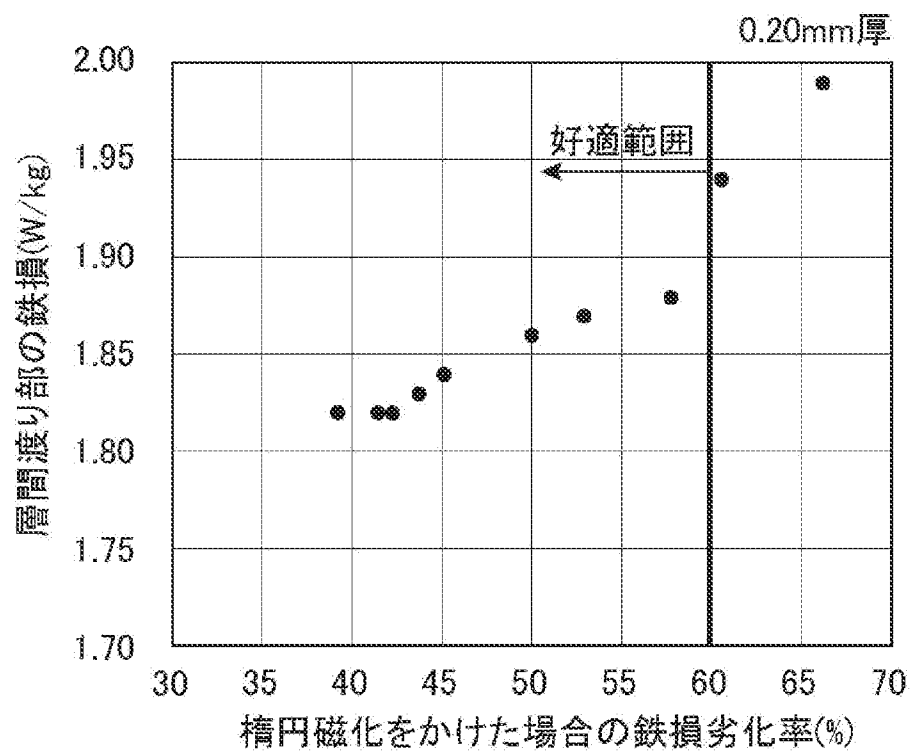


(A)磁束渡り+(B)層間磁束+(C)Gapを渡る磁束=接合部に到達した磁束
 ラップ接合部では磁束の対称性を考慮すると、(B)層間磁束= $1/2 \times$ (A)磁束渡り
 (C)Gapを渡る磁束=接合部に到達した磁束- $3/2 \times$ (A)磁束渡り

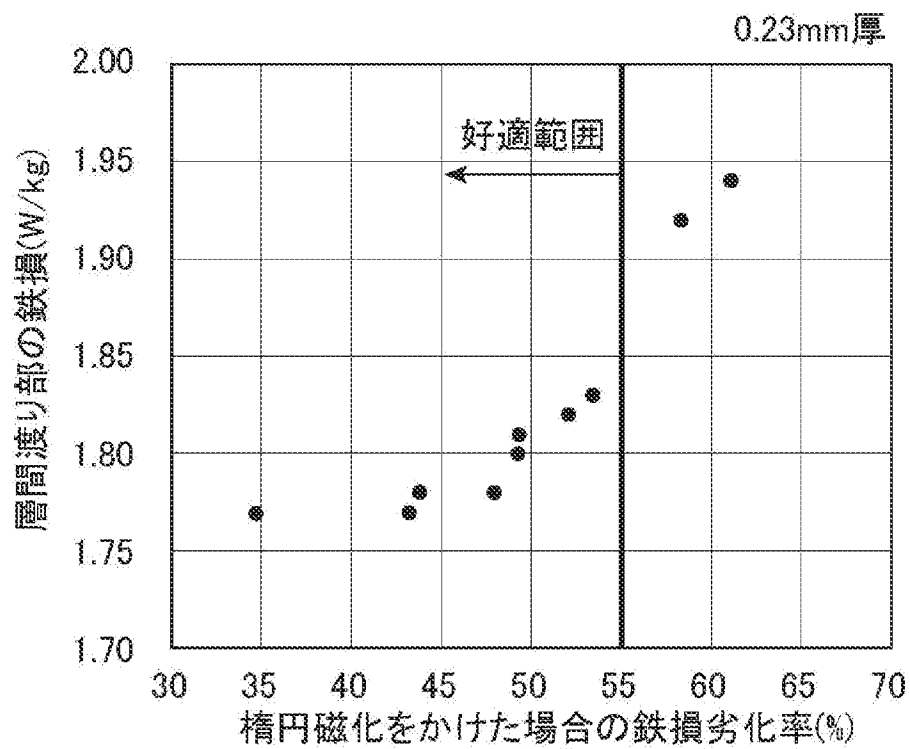
[図7]



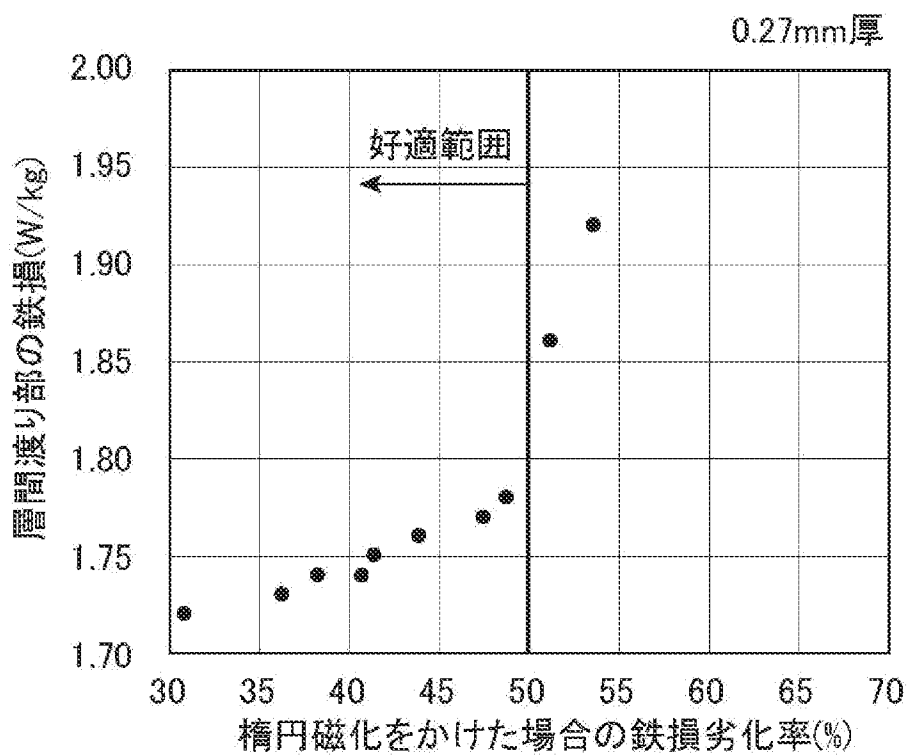
[図8]



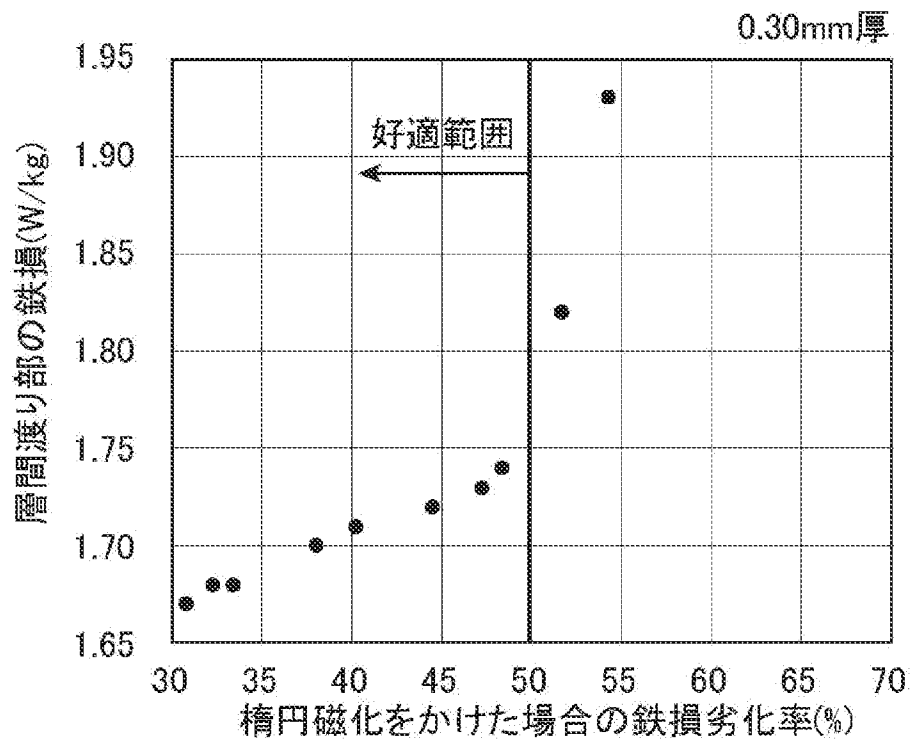
[図9]



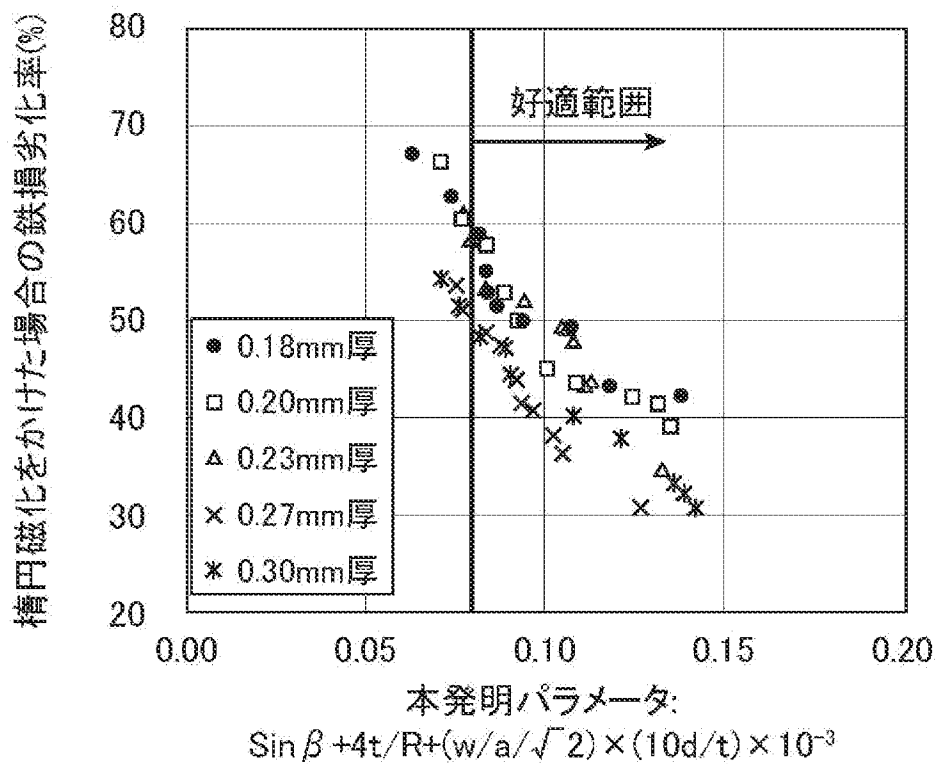
[図10]



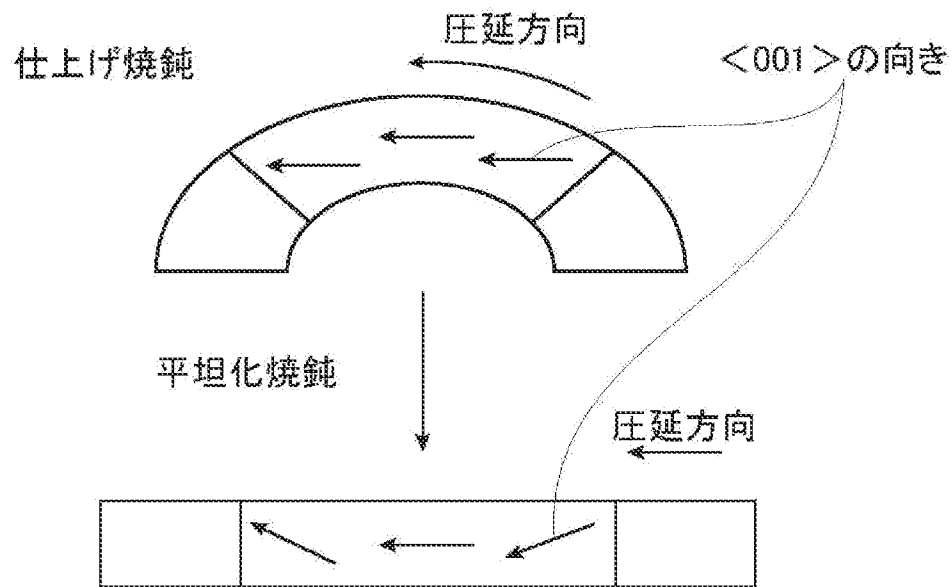
[図11]



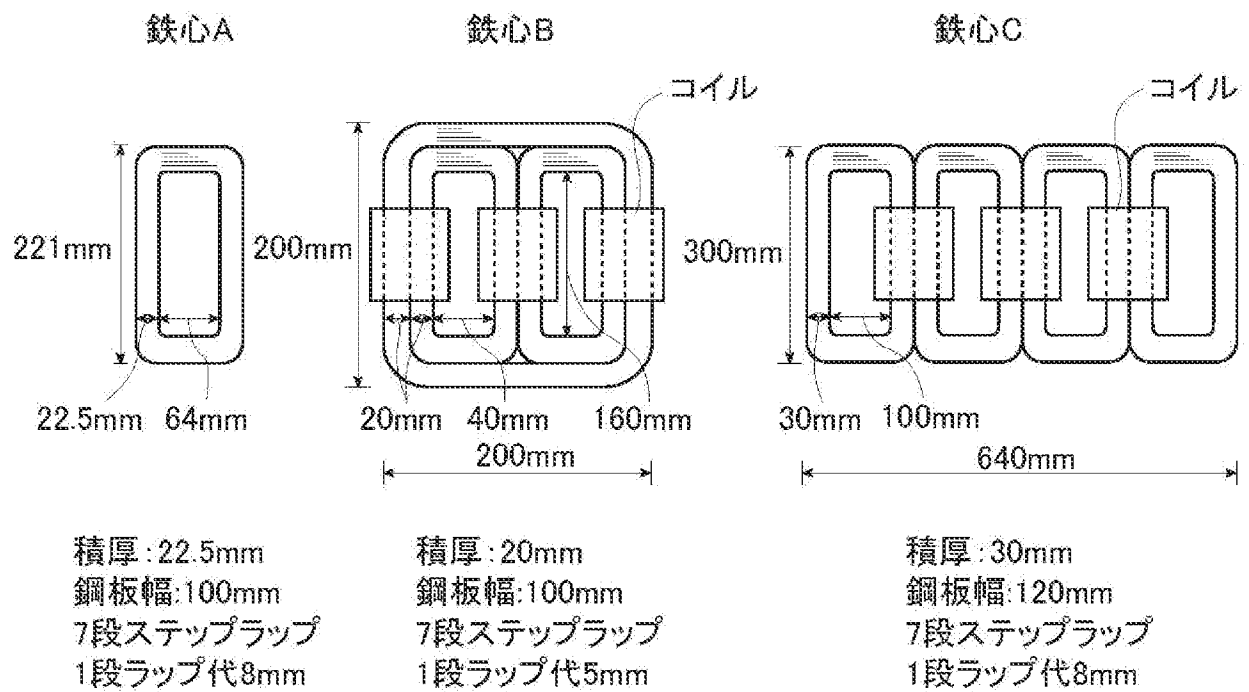
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/003399

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01F1/147(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)i, H01F27/245(2006.01)i,
H01F41/02(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)n, C22C38/60(2006.01)n

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)

Int.Cl. H01F1/147, C21D8/12, H01F27/245, H01F41/02, C22C38/00, C22C38/60

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 6-136552 A (NIPPON STEEL CORP.) 17 May 1994, entire text, all drawings & US 5507883 A, entire text, all drawings & EP 577124 A2	1-7
A	JP 6-220541 A (NIPPON STEEL CORP.) 09 August 1994, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 6-100997 A (NIPPON STEEL CORP.) 12 April 1994, entire text, all drawings & EP 589418 A1, entire text, all drawings	1-7
A	JP 2005-240079 A (JFE STEEL CORPORATION) 08 September 2005, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2012-126973 A (JFE STEEL CORPORATION) 05 July 2012, entire text, all drawings (Family: none)	1-7

☐ 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
22 March 2019 (22.03.2019)

Date of mailing of the international search report
02 April 2019 (02.04.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01F1/147(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)i, H01F27/245(2006.01)i, H01F41/02(2006.01)i,
C22C38/00(2006.01)n, C22C38/60(2006.01)n

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. H01F1/147, C21D8/12, H01F27/245, H01F41/02, C22C38/00, C22C38/60

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 6-136552 A (新日本製鐵株式会社) 1994. 05. 17, 全文, 全図 & US 5507883 A, 全文, 全図 & EP 577124 A2	1-7
A	JP 6-220541 A (新日本製鐵株式会社) 1994. 08. 09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7

☑ 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

22. 03. 2019

国際調査報告の発送日

02. 04. 2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

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)

鈴木 孝章

5 D

6309

電話番号 03-3581-1101 内線 3551

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 6-100997 A (新日本製鐵株式会社) 1994. 04. 12, 全文, 全図 & EP 589418 A1, 全文, 全図	1-7
A	JP 2005-240079 A (J F E スチール株式会社) 2005. 09. 08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2012-126973 A (J F E スチール株式会社) 2012. 07. 05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7