

(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



(10) 国際公開番号

WO 2013/094218 A1

(43) 国際公開日

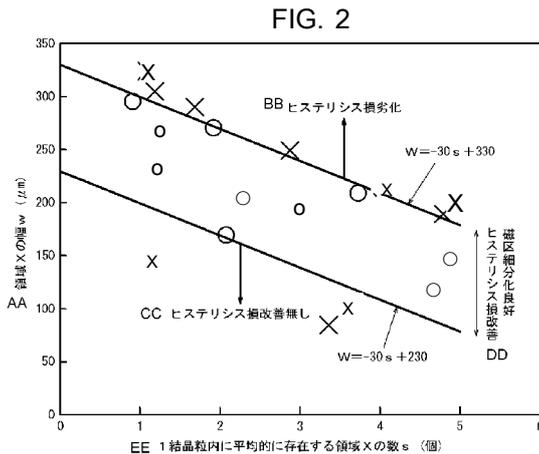
2013年6月27日 (27.06.2013)

W O P C T

- (51) 国際特許分類 : C22C 38/00 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 12/008202
 - (22) 国際出願日 : 2012年12月21日 (21.12.2012)
 - (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 2011-282271 2011年12月22日 (22.12.2011) JP
 - (71) 出願人 : J F E スチール株式会社 (JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒100001 1 東京都千代田区幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
 - (72) 発明者 : ▲高▼城 重宏 (TAKAJO, Shigehiro); 〒100001 1 東京都千代田区幸町二丁目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); 〒100001 1 東京都千代田区幸町二丁目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 : 杉村 憲司 (SUGIMURA, Kenji); 〒10000 13 東京都千代田区霞が関三丁目2番1号 霞が関コモンゲート西館36階 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシニア (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, 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: GRAIN-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET, AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称 : 方向性電磁鋼板およびその製造方法



AA The width (w) of the regions (X) (μm)
 BB Hysteresis loss deteriorated
 CC No improvement over the hysteresis loss
 DD Favorable segmentalization of the magnetic domains, hysteresis loss improved
 EE The average numbers (s) of the regions (X) that are present within one crystal grain

(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing a grain-oriented electromagnetic steel sheet exhibiting low hysteresis loss and coercive force, wherein an increase in hysteresis loss due to laser irradiation or electron beam irradiation, which has been a conventional concern, is effectively inhibited. A grain-oriented electromagnetic steel sheet having closure domain regions (X) formed so as to divide the magnetic domains in the rolling direction from one width-side edge to the other width-side edge of the steel sheet, wherein the relationship of the following equation (1) is satisfied: $-(500t-80)xs+230 < w < -(500t-80)xs+330$. (In the equation, t represents the sheet thickness in millimeters; w represents the smaller value, in micrometers, obtained by measuring the widths of the aforementioned regions (X) from the front and rear surfaces of the steel sheet by means of the Bitter method; and s represents the average number of the regions (X) that are present within one crystal grain.

(57) 要約 : 従来懸念された、レーザー照射や電子ビーム照射に伴うヒステリシス損の増大を効果的に抑制して、ヒステリシス損および保磁力が低い方向性電磁鋼板の提供を課題とする。解決手段としては、鋼板の一方の幅端部から他方の幅端部まで、磁区を圧延方向に分断するように形成された還流磁区領域 X を有する方向性電磁鋼板において、板厚を t (mm) とし、該領域 X の幅を w (μm) とし、また 1 結晶粒内に平均的に存在する該領域 X の数を s (個) としたとき、次式 (1) の関係を満足させる。 $-(500t-80)xs+230 < w < -(500t-80)xs+330$ (1)

の幅を、鋼板の表面および裏面からビッター法で測定して小さい方の値を w (μm) とし、また 1 結晶粒内に平均的に存在する該領域 X の数を s (個) としたとき、次式 (1) の関係を満足させる。 $-(500t-80)xs+230 < w < -(500t-80)xs+330$ (1)



2013/094218 A1

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、変圧器の鉄心などの用途に供して好適なヒステリシス損および保磁力が低い方向性電磁鋼板およびその製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、エネルギーの効率的使用を背景として、変圧器メーカーなどにおいて、磁束密度が高く、鉄損が低く、さらには騒音が小さい電磁鋼板が求められている。

[0003] 磁束密度は、鋼板の結晶方位をゴス方位へ集積させることによって向上が可能であり、例えば特許文献 1 には、1.97 T を超える磁束密度 B_g を有する方向性電磁鋼板の製造方法が示されている。

[0004] 一方、鉄損は、素材の高純度化、高配向性、板厚低減、Si, Al 添加および磁区細分化によって改善が可能である (例えば非特許文献 1)。この他、特許文献 2 には、焼鈍分離剤を調整することによって、保磁力を低下し、鉄損に有利な方向性電磁鋼板を製造する方法が示されている。

[0005] また、騒音は、還流磁区と呼ばれる外部磁界方向に対して直角を向いている磁気モーメントを有する領域を縮小させることによって、低減することが可能である。還流磁区を低減する方法としては、特許文献 3 に記載されているような方法があり、中でも「結晶粒の $\langle 100 \rangle$ 方向を圧延方向に揃える」ことは、磁束密度 B_g の向上およびヒステリシス損の低減にも有効であると考えられ、これまで数多くの報告がなされている。

[0006] しかしながら、一方で、結晶粒の $\langle 100 \rangle$ 方向を圧延方向に揃えると、静磁エネルギーが下がるため、磁区幅が広がって、渦電流損が高くなることが知られている。

[0007] そこで、渦電流損を低減する方法として、被膜張力の向上や熱歪みの導入による磁区細分化技術が利用されている。

特許文献4に示されるような被膜張力を向上させる方法は、還流磁区を消失させる効果もあるため、騒音低減にも有利ではあるものの、付与する張力には限界がある。

[0008] 一方、熱歪みの導入による磁区細分化は、レーザや電子ビーム照射などによって行われており、絶大な渦電流損の改善効果がある。

例えば、特許文献5には、電子ビーム照射によって $W_{17/50}$ が0.8 W/kgを下回る鉄損を有する電磁鋼板の製造方法が示されており、電子ビーム照射は極めて有用な低鉄損化手法であることが分かる。

また、特許文献6には、レーザ照射によって、鉄損を低減する方法が示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1 :特許第4 1 2 3 6 7 9 号公報
特許文献2 :特許第3 3 8 6 7 2 7 号公報
特許文献3 :特許第4 5 8 5 1 0 1 号公報
特許文献4 :特公平2 — 8 0 2 7 号公報
特許文献5 :特公平7 — 6 5 1 0 6 号公報
特許文献6 :特公平3 _ 1 3 2 9 3 号公報
特許文献7 :特許第4 0 9 1 7 4 9 号公報
特許文献8 :特許第4 3 4 4 2 6 4 号公報

非特許文献

- [001 0] 非特許文献1 : 「軟磁性材料の最近の進歩」、第155・156回西山記念技術講座、社団法人日本鉄鋼協会、平成7年2月10日発行

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [001 1] ところが、レーザや電子ビームなどを照射すると、磁区が細分化され渦電流損が下がる一方で、ヒステリシス損が増大する。

例えば、特許文献 7 にも示されているように、鋼板にレーザを照射すると皮膜の蒸発反力、または急加熱・急冷により表層に応力歪みが発生する。この歪みを源にしてその幅とほぼ同程度の幅を持つ還流磁区が発生し、ここでの静磁エネルギーを最小化にするように 180° 磁区が細分化される。その結果、 180° 磁区幅に比例した渦電流損が減少し鉄損が低下する。一方で、歪みが導入されるとヒステリシス損は増大する。すなわちレーザによる鉄損低減とは図 11 に模式図に示すように歪み量の増大に伴う渦電流損の減少とヒステリシス損の増加の中で、それらの和である鉄損を最小化させる最適応力歪みを付与することにある。従って、渦電流損を十分に低下させ、かつヒステリシス損の増大を極力抑制することが理想的であり、そのような方向性電磁鋼板を実現することが望まれていた。」のである。

[00 12] また、特許文献 8 には、レーザ照射などによって鋼板に生じる硬化領域が、磁壁移動を妨害し、ヒステリシス損を高くすると報告されている。

さらに、このような還流磁区は、磁歪を増大させると考えられており、したがって、変圧器の鉄心として使用した場合、励磁時に騒音が大きくなってしまう。

[00 13] このような問題に対して、特許文献 8 には、レーザ出力やスポット径比を調整することによって、レーザ走査方向と直角方向の、レーザ照射によって硬化する領域を 0.6mm 以下に縮小させ、照射によるヒステリシス損の増大を抑制することで、鉄損をより低減する技術が示されている。しかしながら、それでも、レーザや電子ビームを照射することによって鉄損の最小化を図ると、少なからずヒステリシス損および騒音が、照射前よりも増大してしまうという問題があった。

[00 14] 本発明は、上記の現状に鑑み開発されたもので、従来懸念された、レーザ照射や電子ビーム照射に伴うヒステリシス損の増大を効果的に抑制して、ヒステリシス損および保磁力を低減した方向性電磁鋼板を、その有利な製造方法と共に提案することを目的とする。

課題を解決するための手段

[001 5] さて、発明者らは、上記の課題を解決すべく鋭意実験と検討を重ねた結果、レーザや電子ビームなどによる磁区細分化処理に工夫を加えることによつて、渦電流損を低減させつつ、ヒステリシス損も低減させ得ることを見出した。

[001 6] 上記の磁区細分化処理は、鋼板に還流磁区を生成させる一方、照射前にあつたランセット磁区と呼ばれる還流磁区を消失させる役割も有する。ランセット磁区とは、結晶方位 (β 角) が、理想的な $\langle 100 \rangle$ 方向から数. ずれている場合に生じる静磁工エネルギーを低減するために生成する、板厚方向に磁気モーメントを有する領域である。

かような現象が生じる詳細なメカニズムは定かではないが、磁区細分化により新しく生成した還流磁区が、ランセット磁区に代わって静磁工エネルギーを安定化したためか、または磁区細分化時に鋼板に形成された内部応力が、ランセット磁区を不安定にするため、ランセット磁区が消失するものと考えられる。

[001 7] 発明者らは、レーザや電子ビームの照射によって生成する還流磁区に対して、消失する還流磁区 (ランセット磁区) の割合を高くすることにより、ヒステリシス損および保磁力を照射前の値よりもさらに低減できることの新規知見に基づいて、本発明を完成させたものである。

[001 8] すなわち、本発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 鋼板の一方の幅端部から他方の幅端部まで、直線状または曲線状に、圧延方向に周期的に、磁区を圧延方向に分断するように形成された還流磁区領域 X を有する方向性電磁鋼板において、板厚を t (mm) とし、該領域 X の幅を、鋼板の表面および裏面からピッター法で測定し、そのうちより小さい方の値を w (μm) とし、また 1 結晶粒内に平均的に存在する該領域 X の数を s (個) としたとき、これら w、s および t が次式 (1)

$$- (500t-80) \times s + 230 \leq w \leq - (500t-80) \times s + 330 \quad \dots (1)$$

の関係を満足することを特徴とする方向性電磁鋼板。

[001 9] 2. 前記 1 に記載の方向性電磁鋼板の製造方法であつて、鋼板表面にレーザ

または電子ビームを照射するに際し、鋼板の平均結晶粒径に応じて、圧延方向の周期的な照射間隔し、照射エネルギー E およびビーム径 a の少なくともいずれかを調整して、鋼板の一方の幅端部から他方の幅端部まで、直線状または曲線状に、圧延方向に周期的に、磁区を圧延方向に分断する還流磁区領域 X 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。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、磁区細分化に際し、還流磁区を適切に導入することにより、渦電流損の改善に加え、従来難しいとされたヒステリシス損の改善も同時に達成することができる。

また、本発明の方向性電磁鋼板は、ヒステリシス損が低だけでなく、1.7 T励磁における保磁力も低いため、変圧器のエネルギー使用効率が向上する利点がある。さらに、騒音の要因とされる還流磁区量が極めて少ないため、騒音の抑制も併せて達成できるので、産業上極めて有用である。

図面の簡単な説明

[0021] [図1] 還流磁区領域 X の形成要領を示す図である。

[図2] 還流磁区領域 X の幅 w と1結晶粒内に平均的に存在する領域 X の本数 s が磁区細分化およびヒステリシス損に及ぼす影響を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明について具体的に説明する。

本発明は、方向性電磁鋼板に対して適用されるものである。方向性電磁鋼板としては、絶縁被膜などがコーティングされていても良いし、コーティングが部分的に剥離していても、また全体に無くても問題はない。

[0023] また、本発明の電磁鋼板は、鋼板の幅端部からもう一方の幅端部まで、直線状または曲線状に、圧延方向に周期的に、磁区を圧延方向に分断するように形成された還流磁区領域 X を有する。ここで、幅方向には、必ずしも連続した1本の線で照射されている必要はなく、数100mm毎に不連続であっても良い。すなわち、例えば図1に示すように、途中で段差がついていても良い。ただし、結晶粒界は、上記の、磁区を圧延方向に分断するように形成された

還流磁区領域に含めない。

[0024] 上記した還流磁区領域Xの導入前後の鉄損変化量を考察すると、一般に、磁区細分化に対応する渦電流損の低減および還流磁区増大によるヒステリシス損の増加は、領域Xの幅wが大きくなるほど、また1結晶粒内に平均的に存在する領域Xの本数sが大きいほど顕著になると考えられる。

しかしながら、発明者らは、上記したsおよびw、さらに板厚tが、ある一定の関係を満足すると、ヒステリシス損が改善されることを見出した。

[0025] ここで、1結晶粒内に平均的に存在する領域Xの本数sは、磁気測定を行う試料内に存在する結晶粒i (i = 1 ~ N、N : 全結晶粒数) に対して、その面積率Siとその結晶粒内に存在する領域Xの数niを測定し、 $\sum (i = 1, N) S_i \times n_i$ で定義した。被膜が付いたままでは、結晶粒の測定がしにくい場合には、結晶粒が目視で認識できるまで、塩酸や硝酸などを用いて被膜を剥離してもよいが、過度にすると地鉄が溶出してしまい、領域Xの幅が被膜ありの状態から変わるため、領域Xの幅は予め被膜付きの状態で測定する方が好ましい。また、領域Xの幅は、鋼板の表面から観察する場合と裏面からの場合で異なるため、より小さい方の値で定義し、wとした。ただし、領域Xが片面でしか観察されない場合には、その片面における幅をwとした。wが幅方向で大きく変動する場合には、幅方向の平均値を採ることとする。

[0026] なお、還流磁区領域Xの幅の測定に際しては、ビッター法を用いる。

ここに、ビッター法とは、磁化の変化が大きい部分にひきつけられやすい磁性コロイドによって、磁壁などを観察する手法である。

[0027] 発明者らは、上記したwとsを適正化することによって、磁区が細分化されて渦電流損が低減し、しかも照射前よりもヒステリシス損が改善される条件を実験的に求めた。

図2に、電子ビーム照射によるwとsが磁区細分化およびヒステリシス損に及ぼす影響について調べた結果を示す。

同図に示したとおり、磁区が細分化され、ヒステリシス損が照射前に比較して低くなる条件は、次式 (1)

$$-(500t-80) \times s + 230 \leq w \leq -(500t-80) \times s + 330 \quad \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

で規定できることが明らかとなった。

なお、 $w < -(500t-80) \times s + 230$ の場合は、照射によって元々鋼板に存在していた還流磁区が低減せず、ヒステリシス損の改善効果が不十分であり、一方 $-(500t-80) \times s + 330 < w$ の場合は、照射によって増加する還流磁区が多すぎてヒステリシス損の改善が望めない。

[0028] 例えば、前記板厚 t が 0.22mm の場合、ヒステリシス損が照射前に比較して低くなる条件は、次式 (2)

$$-30 \times s + 230 \leq w \leq -30 \times s + 330 \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

で規定できる。 $w < -30 \times s + 230$ の場合は、照射によって元々鋼板に存在していた還流磁区が低減せず、ヒステリシス損の改善効果が不十分であり、一方 $-30 \times s + 330 < w$ の場合は、照射によって増加する還流磁区が多すぎてヒステリシス損の改善が望めない。

[0029] また、ヒステリシス損が低減する w の範囲は、板厚 t が大きくなるほど狭くなることが明らかとなった。これは、板厚 t が小さい場合には、磁壁エネルギーが低いためにレーザや電子ビームを照射すると容易に磁区細分化が生じ、静磁エネルギーが減少することに起因すると推定され、もともと静磁エネルギーを低減するために生成していたランセット磁区は存在する必要がなくなり、消失すると考えられる。そのため、できるだけ大きなヒステリシス損低減効果を得る観点からは、板厚 t が 0.27mm 以下であることが好ましい。

[0030] また、発明者らは、 s が大きいほど、ヒステリシス損が過度に高くなる傾向にあることを見出した。詳細なメカニズムは不明であるが、元々粒内に存在する還流磁区は、 s が小さい段階でほぼ消失してしまうため、 s がさらに大きくなっても、還流磁区を減らす効果は非常に乏しくなる一方で、熱影響領域が拡大することによって、ヒステリシス損が増大するためであると推定される。一方、 s が小さすぎるとヒステリシスの改善効果が不十分となる。

従って、1 結晶粒内に平均的に存在する領域 X の本数 s は、0.3~1.0 個程度とすることが望ましい。

また、還流磁区領域 X の幅 w は、30~320 μm 程度とすることが好ましい。

[0031] さらに、発明者らは、鋼板表面にレーザまたは電子ビームを照射するに際し、鋼板の平均結晶粒径に応じて、圧延方向の周期的な照射間隔し、照射エネルギー E およびビーム径 a の少なくともいずれかを調整して、上記領域 X を形成することにより、上記のようなヒステリシス損および保磁力の低い方向性電磁鋼板を製造することができることを見出した。

[0032] 例えば、鋼板の圧延方向の平均結晶粒径 D を、i 番目の結晶粒の圧延方向最大長さを d_i とし、 $D = \sum (i = 1, N) S_i X d_i$ と定義すれば、十分な数の結晶粒があれば、

$s = [D/L] \text{ or } [D/L + 1]$ 、ただし、 $[]$ はその中の値を超えない最大の整数と表すことができる。

[0033] 従って、この s が、上掲式 (1) を満たすように、領域 X の幅 w および照射間隔 L を調整してやれば良い。領域 X の幅 w は、照射エネルギー E やビーム径 a との相関が高く、E が高くなるほど w が大きくなり、また同一エネルギー照射の場合 a が小さくなるほど w が大きくなるため、予めテスト照射を行って w と E、a との関係を実験的に導出しておけば、E、a の調整によって、w を制御することが可能である。

[0034] また、ヒステリシス損は、測定ばらつきが 0.002W/kg 程度あるため、照射によってヒステリシス損が下がると認める変化量を (照射前のヒステリシス損 - 照射後のヒステリシス損) $\geq 0.003\text{W/kg}$ とした。

領域 X の導入には、ボールペンやナイフなどによる罫書きや、熱・光・粒子線照射などが考えられるが、ボールペンやナイフなどで罫書いた場合、歪みの導入が多くなり、ヒステリシス損が増大しやすいことから、レーザ照射、電子ビーム照射、プラズマ炎照射などといった熱・光・粒子線照射が望ましい。

実施例

[0035] (実施例 1)

本実験に用いた材料は、板厚が実測値で0.22mm、圧延方向の磁束密度 B_0 が 1.85~1.95 T で、地鉄の表面に、 Mg_2SiO_4 を主成分とするガラス状被膜およびその上に無機物の処理液を焼き付けた被膜（リン酸塩系コーティング）の2層の被膜を有する方向性電磁鋼板である。

[0036] 還流磁区領域 X を導入する手法としては、電子ビーム照射、レーザー照射を用いた。各照射に際しては、電子ビーム照射部、レーザー照射部が、鋼板の圧延直角方向に鋼板を横切るように、全板幅にわたって直線状に走査した。

電子ビーム照射の場合には、走査線に沿って、照射時間が、長時間 (s_1) と短時間 (s_2) を繰り返すようにして行い、この繰り返しの距離周期（ドットピッチ）は0.05~0.6mmとした。また、通常、 s_2 は s_1 に対して十分に短く無視できるため、 s_1 の逆数を照射周波数として良く、10~250kHz とした。さらに、走査速度は4~80m/s、圧延方向の繰り返し間隔は3~50mmとした。なお、電子ビームの照射に際しては、収束コイル中心から被照射材までの最短距離を700mm、加工室内の圧力を2 Pa以下とした。

一方、レーザー照射の場合は、連続照射（ドットピッチ：0）または断続的にパルス照射（パルス間隔：0.3mm）とし、走査速度は10m/s、圧延方向の繰り返し間隔は3~50mmとした。レーザーは、連続照射の場合はファイバーレーザーを、パルス照射の場合はYAGレーザーをそれぞれ使い、いずれも波長：1064 nmとした。

[0037] 上記の方法により還流磁区領域 X を導入した後、マグネットピユアー（シグマハイケミカル社製MV-95）を用いたビッター法により、領域 X の幅を表裏面から測定し、 w を求めた。ついで、鉄損を測定した。その後、35%の塩酸水：5 L を20 L の水で希釈した水溶液に47% フッ化水素水：500mL を混合した水溶液と、67.5% 硫酸水：500mL を10 L の水で希釈した水溶液によって、被膜を剥離した。

被膜を剥離した試料の各結晶粒内にある領域 X の数を、マグネットピユアーを用いて観察し、 s を測定した。

[0038] 表 1 に、還流磁区領域 X の幅 w および還流磁区領域 X の数 s を示す。

また、表 1 には、照射前のヒステリシス損 $W_{h_{17/50}}$ 、照射後のヒステリシス損の改善量 $\Delta W_{h_{17/50}}$ (照射前の値 - 照射後の値) および渦電流損の改善量 $\Delta W_{e_{i_{7/50}}}$ (照射前の値 - 照射後の値) について調べた結果も併せて示す。

さらに、表 1 には、照射前の保磁力 H_e および照射後の保磁力改善量 ΔH_e (照射前の値 - 照射後の値) についての調査結果も併記する。

なお、表 1 には、被膜による付与張力を記号 A、B、C で示したが、A は 10MPa 超 ~ 15MPa 以下、B は 5 MPa 超 ~ 10MPa 以下、C は 5 MPa 以下の場合である。

。

[0039]

[表1]

表1

No.	領域Xの 導入方法	被膜張力	w (μ m)	s (個)	条件式 の適否	ヒステリシス損 Wh _{1/750} (W/kg)	ヒステリシス損 改善量 Δ Wh _{1/750} (W/kg)	渦電流損 改善量 Δ We _{1/750} (W/kg)	保磁力 Hc (A/m)	保磁力 改善量 Δ Hc(A/m)	備考
1	電子ビーム	A	325	1.1	×	0.306	-0.003	0.065	5.74	0.22	比較例
2	電子ビーム	A	305	1.2	×	0.300	-0.002	0.060	5.54	0.31	比較例
3	電子ビーム	A	295	1.0	○	0.283	0.003	0.064	5.48	0.37	発明例
4	電子ビーム	B	270	1.3	○	0.261	0.004	0.076	5.58	0.26	発明例
5	電子ビーム	A	235	1.3	○	0.286	0.008	0.071	5.78	0.38	発明例
6	電子ビーム	A	290	1.7	×	0.294	-0.003	0.072	5.73	0.21	比較例
7	電子ビーム	C	270	2.0	○	0.284	0.011	0.078	5.59	0.52	発明例
8	電子ビーム	A	210	2.3	○	0.292	0.012	0.105	5.57	0.45	発明例
9	電子ビーム	A	250	2.9	×	0.305	-0.004	0.095	5.67	0.28	比較例
10	電子ビーム	A	195	3.1	○	0.278	0.006	0.085	5.54	0.28	発明例
11	電子ビーム	A	220	4.2	×	0.294	-0.015	0.086	6.17	-0.17	比較例
12	電子ビーム	A	210	3.8	○	0.268	0.003	0.075	5.48	0.25	発明例
13	電子ビーム	A	200	5.0	×	0.278	-0.021	0.114	6.36	-0.46	比較例
14	電子ビーム	A	190	4.8	×	0.276	-0.014	0.116	6.12	-0.29	比較例
15	レーザ	A	150	4.9	○	0.246	0.004	0.062	5.40	0.21	発明例
16	レーザ	C	170	2.1	○	0.255	0.010	0.062	5.62	0.50	発明例
17	レーザ	A	150	1.2	×	0.251	-0.001	0.043	5.56	0.15	比較例
18	レーザ	A	105	3.7	×	0.267	0.000	0.053	5.68	0.16	比較例
19	レーザ	A	120	4.7	○	0.262	0.004	0.066	5.48	0.21	発明例
20	レーザ	A	85	3.4	×	0.273	0.001	0.041	5.72	0.20	比較例
21	電子ビーム	A	265	1.8	○	0.285	0.013	0.132	5.30	0.65	発明例
22	電子ビーム	A	255	2.2	○	0.287	0.012	0.138	5.23	0.69	発明例

※ 被膜張力 Δ : 10 超 ~ 15 MPa、B: 5 超 ~ 10 MPa、C: 5MPa 以下

[0040] 表 1 に示したとおり、いずれの場合も、渦電流損は低減し、磁区が細分化していることが判明したが、ヒステリシス損は、前掲 (1) 式を満足する場合には限り改善されていることが分かる。また、保磁力 H_e も低減し、少ない外部磁場で励磁できることが分かる。

さらに、ヒステリシス損改善量 $\Delta W_{h_{17/50}}$ および保磁力改善量 ΔH_o は、被膜張力が低いほど大きくなる傾向にあることが判明した。この理由は、電子ビームまたはレーザー照射前のランセット磁区は、被膜張力が高いほど低減しているために、被膜張力が高い場合には照射による改善代が少なくなったものと考えられる。

[0041] (実施例 2)

板厚実測値で、それぞれ 0.18mm、0.19mm、0.24mm である方向性電磁鋼板を用いたこと以外は、実施例 1 と同様の条件によって電子ビーム照射を行った。

その結果を表 2 に示す。

[0042]

[表2]

No.	領域Xの 導入方法	板厚 (mm)	被膜張力	w (μ m)	s (個)	条件式 の適否	ヒステリシス損 $W_{h1/50}$ (W/kg)	ヒステリシス損 改善量 $\Delta W_{h1/50}$ (W/kg)	渦電流損 改善量 $\Delta W_{e1/50}$ (W/kg)	保磁力 Hc (A/m)	保磁力 改善量 ΔHc (A/m)	備考
23	電子ビーム	0.18	A	280	2.5	○	0.304	0.018	0.207	6.02	0.77	発明例
24	電子ビーム	0.18	A	210	5.0	○	0.295	0.010	0.222	6.21	0.61	発明例
25	電子ビーム	0.19	A	345	5.0	×	0.298	0.002	0.263	6.12	0.32	比較例
26	電子ビーム	0.19	A	260	1.3	○	0.280	0.012	0.136	5.59	0.66	発明例
27	電子ビーム	0.19	A	260	2.5	○	0.286	0.013	0.201	5.89	0.39	発明例
28	電子ビーム	0.19	A	220	4.0	○	0.284	0.007	0.194	6.12	0.11	発明例
29	電子ビーム	0.24	A	270	1.4	○	0.286	0.004	0.120	5.22	0.04	発明例
30	電子ビーム	0.24	A	270	2.2	×	0.273	-0.012	0.142	5.27	-0.13	比較例
31	電子ビーム	0.24	A	270	3.3	×	0.272	-0.018	0.162	5.40	-0.18	比較例
32	電子ビーム	0.24	A	210	5.0	×	0.268	-0.028	0.174	5.42	-0.23	比較例

※ 被膜張力 A:10超~15MPa、B:5超~10MPa、C:5MPa以下

[0043] 表 2 に示したとおり、板厚が 0.22mm 以外の場合においても同様に、(2) 式を満足することで、ヒステリシス損および保磁力が改善し、それぞれ低い値となることがわかる。

[0044] (実施例 3)

さらに、磁区細分化を施した幅 100mm の鋼板を用いて、三相三脚の積み鉄心型の変圧器を模擬した、外径 500mm 角のモデルトランスを作製し、騒音評価を実施した。

このモデルトランスは、積み厚 : 約 15mm、鉄心重量 : 約 20kg となるように斜角切断した鋼板を積層して作製した。三相は 120° 位相をずらして励磁を行い、1.7T、50Hz 励磁の場合における騒音測定を行った。騒音は鉄心表面より 20cm 離れた位置 (2ヶ所) にてマイク測定し、A スケール補正 (JIS C 1509) を行った dBA 単位で表した。

表 3 に測定結果を示す。

[0045] [表 3]

表 3

記号	変圧器騒音(dBA)		備考
	照射前	照射後	
13	36	38	比較例
22	35	34	発明例
27	34	33	発明例

[0046] 比較例として示した No. 13 の鋼板を用いた場合には、磁区細分化処理後に騒音が増大した。これは、鋼板に過度の還流磁区が形成されて、磁気歪みが大きくなったためと推定される。

一方、発明例として示した No. 22 および No. 27 の鋼板を用いた場合には、磁区細分化処理後に騒音が低下することがわかる。照射により導入する還流磁区 X は、ランセット磁区と同様に磁気歪みを増大させる要因となるが、照射による還流磁区の導入量以上にランセット磁区の減少量が多いために、両者の総和としては磁気歪み低減に有利な状態となったものと考えられる。

請求の範囲

[請求項1] 鋼板の一方の幅端部から他方の幅端部まで、直線状または曲線状に、圧延方向に周期的に、磁区を圧延方向に分断するように形成された還流磁区領域Xを有する方向性電磁鋼板において、板厚をt (mm)とし、該領域Xの幅を、鋼板の表面および裏面からピッター法で測定し、そのうちより小さい方の値をw (μm)とし、また1結晶粒内に平均的に存在する該領域Xの数をs (個)としたとき、これらw、sおよびtが次式 (1)

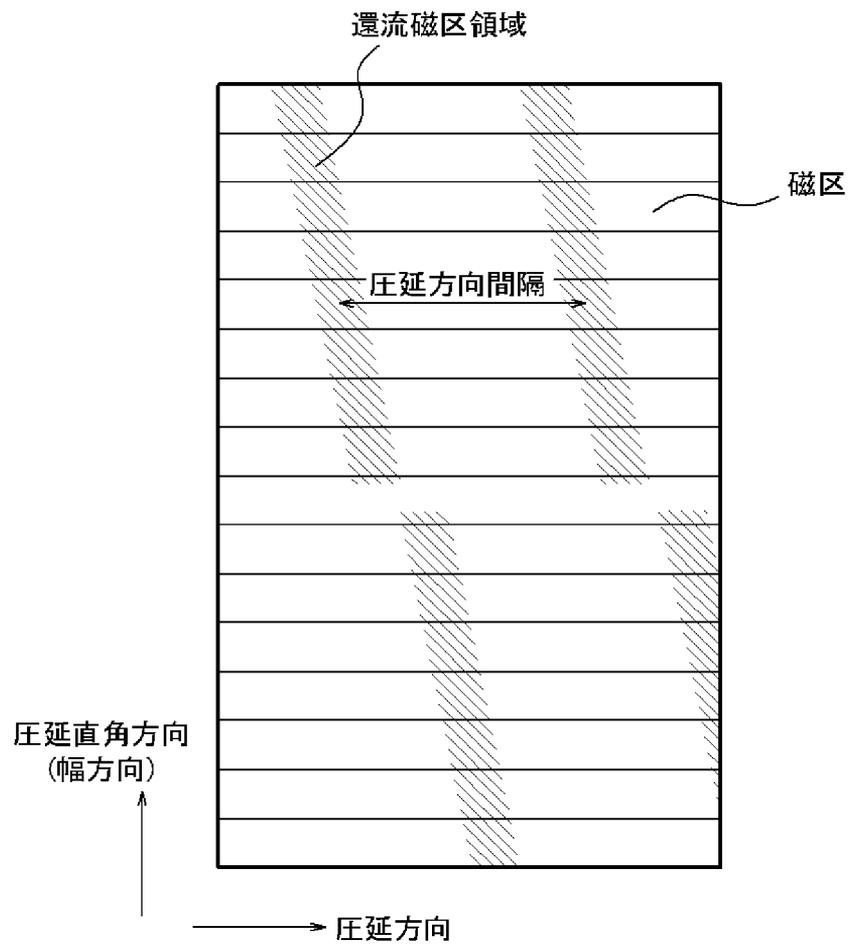
$$- (500t-80) \times s + 230 \leq w \leq - (500t-80) \times s + 330 \quad \dots (1)$$

の関係を満足することを特徴とする方向性電磁鋼板。

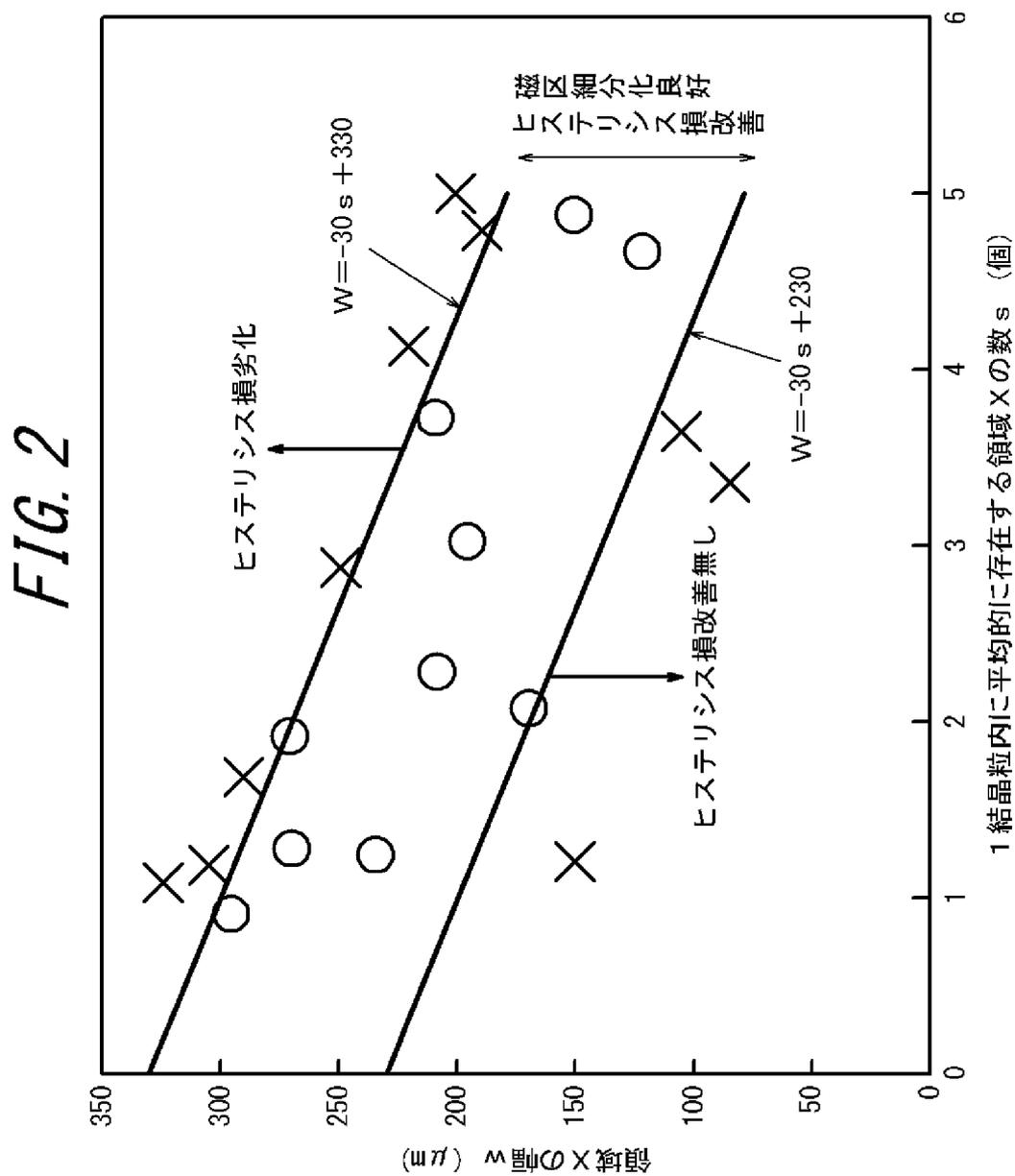
[請求項2] 請求項1に記載の方向性電磁鋼板の製造方法であって、鋼板表面にレーザまたは電子ビームを照射するに際し、鋼板の平均結晶粒径に応じて、圧延方向の周期的な照射間隔し、照射エネルギーEおよびビーム径aの少なくともいずれかを調整して、鋼板の一方の幅端部から他方の幅端部まで、直線状または曲線状に、圧延方向に周期的に、磁区を圧延方向に分断する還流磁区領域Xを形成することを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

[図1]

FIG. 1



[図2]



A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C3 8/0 0 (2006.01)i, C21 D8/1 2 (2006.01)i, H01 F1/16 (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, C21D8/12, 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	1996-2013	
Kokai	Jitsuyo	Shinan	Koho	1971-2013	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2013

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.
X	JP 3-72027 A (Nippon Steel Corp.), 27 March 1991 (27.03.1991), page 2, upper right column, line 5 to lower left column, line 10; fig. 1 (Family: none)	1-2
X	JP 3-72026 A (Nippon Steel Corp.), 27 March 1991 (27.03.1991), page 3, upper right column, line 19 to lower right column, line 10; fig. 3 (Family: none)	1-2
A	JP 2002-12918 A (Nippon Steel Corp.), 15 January 2002 (15.01.2002), paragraphs [0004], [0008] to [0022]; fig. 2, 3, 6 & US 2001/0032684 A1 & EP 1149924 A2	1-2



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

"I" 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
19 March, 2013 (19.03.13)Date of mailing of the international search report
02 April, 2013 (02.04.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 012 / 008202

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/083465 A1 (Nippon Steel Corp.), 30 September 2004 (30.09.2004), claims ; page 1, line 27 to page 2, line 11; page 10, lines 15 to 25 & US 2006/0169362 A1 & EP 1607487 A1 & WO 2004/083465 A1 & KR 10-2005-0115285 A & CN 1761764 A & RU 2005132223 A	1-2
A	JP 63-262421 A (Kawasaki Steel Corp.), 28 October 1988 (28.10.1988), claims ; page 3, lower left column, line 9 to lower right column, line 20 & US 4915749 A & EP 0287357 A2 & CA 1299469 C & KR 10-1996-0002915 B	1-2
A	JP 58-144424 A (Kawasaki Steel Corp.), 27 August 1983 (27.08.1983), claims ; page 3, upper left column, line 17 to page 4, upper left column, line 20 (Family : none)	1-2

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 , H01F1/16 (2006. 01) i

B. 一 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, C21D8/12, 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 1922-19
 日本国公開実用新案公報 1971-20
 日本国実用新案登録公報 1996-20
 日本国登録実用新案公報 1994-20

国際調査で利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)
 8年

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
X	JP 3-72027 A (新日本製鐵株式会社) 1991. 03. 27, 第2頁右上欄第5行 - 左下欄第10行, 第1図 (ファミリーなし)	1 - 2
X	JP 3-72026 A (新日本製鐵株式会社) 1991. 03. 27, 第3頁右上欄第19行 - 右下欄第10行, 第3図 (ファミリーなし)	1 - 2
A	JP 2002-12918 A (新日本製鐵株式会社) 2002. 01. 15, 【D004】 , 【D008】 - 【0022】 , 【図2】 , 【図3】 , 【図6】 & US 2001/0032684 AI & EP 1149924 A2	1 - 2

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	の日の後に公表された文献
IA) 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	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
IE) 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	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
I) 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	IY) 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
IO) 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	I&) 同一パテントファミリー文献
IP) 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 19. 03. 2013	国際調査報告の発送日 02. 04. 2013
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) 伊藤 真明 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	wo 2004/083465 AI (新日本製鐵株式会社) 2004. 09. 30, 請求の範囲, 第 1 頁第 27 行 - 第 2 頁第 11 行, 第 10 頁第 15 行 - 第 25 行 & US 2006/0169362 AI & EP 1607487 AI & wo 2004/083465 AI & KR 10-2005-0115285 A & CN 1761764 A & RU 2005132223 A	1 - 2
A	JP 63-262421 A (川崎製鐵株式会社) 1988. 10. 28, 特許請求の範囲, 第 3 頁左下欄第 9 行 - 右下欄第 20 行 & US 4915749 A & EP 0287357 A2 & CA 1299469 C & KR 10-1996-0002915 B	1 - 2
A	JP 58-144424 A (川崎製鐵株式会社) 1983. 08. 27, 特許請求の範囲, 第 3 頁左上欄第 17 行 - 第 4 頁左上欄第 20 行 (ファミリーなし)	1 - 2