

(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
2013 年 7 月 4 日 (04.07.2013)

W O I P C T

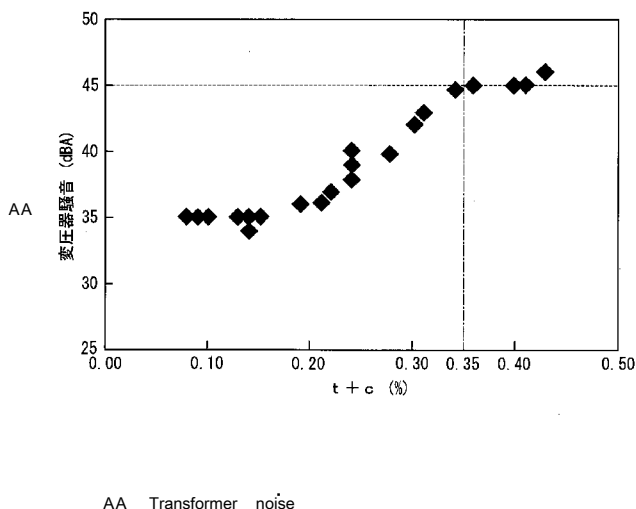
(10) 国際公開番号
WO 2013/100200 A 1

- (51) 国際特許分類 :
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 12/084307
- (22) 国際出願日 : 2012 年 12 月 28 日 (28.12.2012)
- (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 2011-289783 2011 年 12 月 28 日 (28.12.2011) JP
- (71) 出願人 : J F E スチール株式会社 JFE STEEL CORPORATION [JP/JP]; T 100001 1 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者 : ▲高▼城 重宏 (TAKAJO, Shigehiro); T 100001 1 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). 末廣 龍一 (UEHIRO, Ryuichi); T 100001 1 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). 山口 広 (YAMAGUCHI, Hiroi); T 100001 1 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 杉村 憲司 (SUGIMURA, Kenji); T 1000013 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, 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), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロパ (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: ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL PLATE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR
- (54) 発明の名称 方向性電磁鋼板およびその製造方法

[図2]

FIG. 2



(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing an oriented electromagnetic steel plate that, when used for a transformer core or the like, produces an extremely low amount of noise and iron loss, exhibits high energy utilization efficiency, and enables the manufacture of a transformer that can be used in a variety of environments. The present invention pertains to a strain distribution in a rolling-direction cross section in a region in which closure domains are formed, said strain distribution being characterized in that the maximum tensile strain in the thickness direction is at most 0.45% and the maximum tensile strain (t) (%) and maximum compressive strain (c) (%) in the rolling direction satisfy relation (1). (1) $t + 0.06 \leq t + c \leq 0.35$

(57) 要約 : 変圧器の鉄心などに適用した場合に、鉄損と騒音が極めて低く、エネルギー使用効率が高く、しかも様々な環境で使用できる変圧器の作製を可能にする方向性電磁鋼板を提供することを課題とする。本発明は、還流磁区が形成された領域の圧延方向断面における歪み分布に関し、板厚方向の最大引張歪みを0.45%以下とし、かつ圧延方向の最大引

張歪み t (%) と最大圧縮歪み c (%) について、次式 (1) の関係を満足させることを特徴とする。
 $t + 0.06 \leq t + c \leq 0.35$ (1)



W 2 13/1 0200 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使用される方向性電磁鋼板およびその製造方法に関し、特に鉄損と騒音の改善を同時に達成しようとするものである。

背景技術

[0002] 近年、エネルギーの効率的使用を背景として、変圧器メーカなどにおいて、磁束密度が高く、鉄損が低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開示されている。

[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）が、一般に磁束密度 B_g を高くするほど鉄損は劣化する傾向にある。

[0005] 例えば、磁束密度 B_g の向上を目的として結晶方位をゴス方位へ集積させると、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。

[0006] そこで、渦電流損を低減する方法として、被膜張力の向上（例えば特許文献 2）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。

しかしながら、特許文献 2 に示されるような被膜張力の向上方法は、付与する歪みが弾性域近傍と小さいため、鉄損の低減効果の増大には限界がある。

[0007] 一方、熱歪みの導入による磁区細分化は、プラズマ炎やレーザ、電子ビーム照射などによって行われている。

例えば、特許文献 3 には、電子ビーム照射によって $W_{17/5a}$ 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開示されており、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4 には、レーザ照射によって、鉄損を低減する方法が開示されている。

[0008] ところで、プラズマ炎やレーザ、電子ビームなどの高エネルギービームを照射すると、磁区が細分化して渦電流損が下がる一方で、ヒステリシス損が増大することが知られている。

例えば、特許文献5 には、レーザ照射などによって鋼板に生じる硬化領域が、磁壁移動を妨害して、ヒステリシス損を高くすると報告されている。従って、鉄損を最大限低減するためには、渦電流損を下げながらも、ヒステリシス損の増大を抑制することが必要である。

[0009] このような問題に対して、ヒステリシス損と渦電流損を別々の観点から適正化し、低鉄損化する技術が示されている。

例えば、特許文献5 では、レーザ出力やスポット径比を調整することにより、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0.6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、鉄損の一層の低減を図っている。

また、特許文献6 には、板幅方向に垂直な断面における圧延方向の圧縮残留応力の積分値を適正化することによって、渦電流損の低減効果を高め、低鉄損化する技術が開示されている。

[00 10] さらに、近年の変圧器には、高磁束密度、低鉄損であるだけでなく、良好な生活環境を創出するために、低騒音であることが求められている。変圧器に生じる騒音は、主に鉄心の結晶格子の伸縮運動が成因であると考えられており、抑制手段の一つとして、単板の磁気歪みを低減することが有効であることが数多く示されている（例えば特許文献7 等）。

先行技術文献

特許文献

[00 11] 特許文献1 :特許第4 123679 号公報

特許文献2 :特公平2-8027 号公報

特許文献3 :特公平7-651 06号公報

特許文献4 :特公平3-1 3293 号公報

特許文献5 :特許第4344264 号公報

特許文献6 :特開2008- 106288 号公報

特許文献7 :特許第3500 103号公報

非特許文献

- [0012] 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

- [0013] 従来技術（特許文献5、特許文献6）に示された低鉄損化の方法によれば、それぞれヒステリシス損、渦電流損を低減させることはできるものの、騒音を同時に低減させることが困難であった。

例えば、特許文献6に示された、残留応力分布は、鋼板のレーザ照射面近傍の強い圧延方向引張応力とその板厚方向内部のやや強い圧延方向圧縮応力とからなるが、このように圧延方向の引張と圧縮の応力が同時に存在すると、これらの応力を解消するように鋼板が変形しやすくなる。そうすると、このような方向性電磁鋼板を組み合わせて作製される変圧器は、励磁時に、結晶格子の伸縮に伴う鉄心の変形に加えて、内部応力を解放するような鉄心の変形モードが付加されるため、騒音が大きくなる。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明者らは、上記の問題を解決するために種々検討を重ねた結果、磁区細分化のために高エネルギービームを導入した際に鋼板内に生じる引張と圧縮の歪み分布を適正化することによって、低鉄損と低騒音が両立できるのではないかと考えた。

圧延方向の圧縮歪みは、還流磁区を安定化し、磁区細分化効果を高めるため、より多く存在することが好ましい。しかし、一方で、圧延方向の引張歪

みは、還流磁区を逆に不安定化するだけでなく、圧縮歪みに対して過度に大きな歪みであると、鋼板に反りなどの変形を与えやすく、変圧器騒音を著しく劣化させるため、より少ないことが好ましい。

[0015] 従来より、圧延方向の圧縮歪み（あるいは圧縮応力）は、圧延方向または圧延直角方向の強い引張歪み（あるいは引張応力）と共存していることが示されていた。例えば、特許文献6の図2に示される圧延方向応力分布には、圧縮応力 22kgf/mm^2 に比較して2倍近くの非常に大きい 40kgf/mm^2 の引張応力が形成されている。この引張応力は、レーザなどを照射した鋼板表層部が高温化し、圧延方向に熱膨張した状態が冷却後にも保持されるために生じたものと推定される。図8に示すように、本発明者らの実験と解析によってもレーザや電子ビーム照射した鋼板表面には、弓張歪みが存在することが明らかとなっている。このような引張応力分布や引張歪分布の適正化は、鉄損のみを低減することを目的とした特許文献6には示唆されていない新規な観点であり、かつ低騒音化するために重要な点である。

[0016] 本発明者らは、上記した膨張の方向について、レーザや電子ビームの照射条件を調整することによって、圧延方向の膨張を抑制し、板厚方向により膨張させることができること、ひいては圧延方向の圧縮歪みに対し、引張歪みを小さくさせ、低鉄損と低騒音に有利な歪み分布を形成することができることの知見を得た。

また、本発明者らは、上記した膨張の方向に影響を与える条件として、熱線や光線、粒子線ビームなどの高エネルギービームの走査速度に応じてビーム径を適正範囲内に調整することによって、板厚方向の引張歪みを大きくできることの知見を得た。

本発明は、上記の知見に立脚するものである。

[0017] すなわち、本発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 圧延方向を横切るように線状に形成された還流磁区を、圧延方向に周期的に有する方向性電磁鋼板において、上記還流磁区が形成された領域の圧延方向断面における歪み分布について、板厚方向の最大引張歪みが0.45%以下

で、かつ圧延方向の最大引張歪み t (%) と最大圧縮歪み c (%) とが、次式 (1)

$$t + 0.06 \leq t + c \leq 0.35 \quad \text{--- (1)}$$

の関係を満たすことを特徴とする方向性電磁鋼板。

[0018] 2. 鋼板の圧延方向を横切るように高エネルギービームを照射するに際し、圧延直角方向から 30° 以内の角度の方向に、圧延方向に10面以下の周期的な間隔で、しかも鋼板上の表面走査速度 v (m/s) とビーム径 d (μm) とが、次式 (2)

$$200 \leq d \leq -0.04X v^2 + 6.4X v + 190 \quad \text{--- (2)}$$

の関係を満足する条件で高エネルギービームを照射することを特徴とする、前記1に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

発明の効果

[0019] 本発明に従う方向性電磁鋼板は、鉄損と騒音が極めて低いために、変圧器の鉄心などに適用した場合に、エネルギー使用効率が高く、しかも様々な環境で利用できる変圧器の作製が可能となり、産業上極めて有用である。

そして、本発明鋼板を使用することにより、変圧器鉄損 $W_{17/50}$ を 0.90W/kg 以下にすることができるだけでなく、騒音を45dBA未満 (暗騒音30dBA) にすることが出来る。

図面の簡単な説明

[0020] [図1] 板厚方向の最大引張歪みと変圧器鉄損 $W_{17/50}$ との関係を、圧延方向の最大圧縮歪み c をパラメータとして示した図である。

[図2] 圧延方向の最大引張歪み t と最大圧縮歪み c との合計 ($t + c$) と変圧器騒音との関係を示した図である。

[図3] 圧延方向の引張歪みと圧縮歪みに起因した鋼板内の応力状態が、鋼板の反りに与える影響を示した図である。

[図4] 電子ビームの照射要領を示した図である。

[図5] ビーム径の大小により、鋼板に導入される歪みの状態が異なる様を模式的に示した図である。

[図6] 表面走査速度 v とビーム径 d が $(t + c)$ に及ぼす影響を示した図である。

[図7] モデル トランス変圧器の鉄心形状を示した図である。

[図8] レーザや電子ビーム照射した鋼板表面における引張歪み分布を示した図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明を具体的に説明する。

[方向性電磁鋼板]

本発明は、方向性電磁鋼板に適用され、鋼板としては、地鉄の上に絶縁被膜などのコーティングを備えていても、いなくてもいずれでも良い。ただし、変圧器鉄損、騒音を測定する際には、積層する鋼板の間が絶縁されるようにする。

さらに、本方向性電磁鋼板は、以下に示す製造方法などによって、圧延直角方向に線状に形成された還流磁区を、圧延方向に周期的に有するものである。

[0022] また、この還流磁区が形成された領域の圧延方向断面の歪み分布において、板厚方向の最大引張歪みが0.45%以下であり、圧延方向の最大引張歪み t (%) と最大圧縮歪み c (%) とが、次式 (1)

$$t + 0.06 \leq t + c \leq 0.35 \quad \text{--- (1)}$$

の関係を満足するものである。

なお、圧延方向断面の歪み分布は、例えばX線回折や、EBSD-wはkinson法によって測定することができる。

[0023] さて、本発明者らは、ビーム照射条件を変更し、さまざまな歪み分布を有する鋼板を作製して、鋼板内の歪と鉄損、騒音との関係について調査した結果、以下のことを突き止めた。

(1) 図1に示すように、変圧器鉄損 $W_{17/50}$ は、板厚方向の最大引張歪みが0.45%以下で、かつ圧延方向の最大圧縮歪み c が0.06%以上の場合に、0.90W/kg以下となつた。圧延方向の最大圧縮歪み c が0.06%よりも小さい場合には

、磁区細分化効果が過度に小さく鉄損（渦電流損）の低減効果が小さい。一方、板厚方向の最大引張歪みが0.45%を超えると、過度な歪みが生成することにより、転位などが導入されて、ヒステリシス損が劣化するために、鉄損は十分に低減しない。

上記のように、鉄損は、渦電流損低減の観点からは、圧延方向の最大圧縮歪み c を大きくし、ヒステリシス損増大抑制の観点からは、板厚方向の最大引張歪みを小さくすることによって、適正化が可能である。

[0024] (11) 図2に示すように、変圧器騒音は、圧延方向の最大引張歪み t と最大圧縮歪み c との合計が、 $t + c \leq 0.35\%$ であれば、騒音が45dB未満となる。一方、 $t + c > 0.35\%$ の場合には、圧延方向の強い引張応力、強い圧縮応力、あるいはその両方が存在するが、この場合、図3に示すように、これらの応力を解消するように鋼板が変形しやすくなるため、変圧器の鉄心としたときには、励磁時に、結晶格子の伸縮に伴う鉄心の変形に加えて、内部応力を解放するような変形モードが付加されるため、騒音が大きくなると考えられる。

なお、前述したとおり、低鉄損を達成する圧延方向の最大圧縮歪み c の条件は、

$$0.06 \leq c, \text{ 従って } t + 0.06 \leq t + c$$

であるため、次式 (1)

$$t + 0.06 \leq t + c \leq 0.35 \quad \text{--- (1)}$$

の関係を満足することが、低鉄損と低騒音を両立させる条件となる。

[0025] 高エネルギービーム、すなわち熱線や光線、粒子線ビームの照射条件として、以下では、電子ビームについて説明するが、レーザ照射やプラズマ炎照射などその他の照射条件についても基本的な考え方は同じである。

[0026] [電子ビーム照射条件]

本発明の方向性電磁鋼板は、鋼板の圧延方向を横切るように、好ましくは圧延直角方向から 30° 以下の角度方向に、電子ビームを照射することによって製造することができる。この鋼板の一端から他端までのビーム走査は、圧

延方向に2～10mmの間隔をおきながら繰り返し行う。この間隔が過度に短いと、生産性が過度に低下してしまうため、2画以上とするのが好ましい。一方、過度に長いと、磁区細分化効果が十分発揮されないため、10画以下とするのが好適である。

なお、照射する材料の幅が広すぎる場合には、複数の照射源を用いて照射しても良い。

[0027] 特に電子ビーム照射などの場合には、走査線に沿って、照射時間が、図4に示すように、長時間 (s_1)、短時間 (s_2) を繰り返すようにして行うことが多い。この繰り返しの距離周期 (以下、ドットピッチという) は、0.6画以下とすることが好ましい。通常、 s_2 は s_1 に対して十分短く無視できるため、 s_1 の逆数を照射周波数として良い。ドットピッチが0.6画より大きい場合には、十分なエネルギーが照射される面積が減少し、十分な磁区細分化効果が得られない。

[0028] また、照射部の鋼板上での走査速度は、100m/s 以下とすることが好ましい。走査が高速化すると、磁区細分化するために必要なエネルギーを照射するために、単位時間当たりに照射するエネルギーを高くする必要がある。特に、走査を100m/s よりも高速化すると、単位時間当たりの照射エネルギーが過度に高くなり、装置の安定性・寿命などに支障をきたす可能性がある。一方、走査が遅い場合は、生産性が過度に低下するため、望ましくは10m/s 以上とすることが好ましい。

[0029] さらに、電子ビームのビームプロファイルとして、ビーム径 d (μm) が次式 (2) を満たす必要がある。

$$200 \leq d \leq -0.04 \times v^2 + 6.4 \times v + 190 \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 v (m/s) は、鋼板表面上における電子ビームの走査速度である。

ビーム径が200 μm より小さいと、ビームのエネルギー密度が過度に高くなり、歪みが大きくなって、ヒステリシス損および騒音が劣化する。一方、ビーム径が過度に大きい場合、ドット状照射の場合には、図5に模式で示すように、長時間ビーム照射されるビームスポットのオーバーラップ領域が増大し

たり、連続的なビーム照射の場合にはビーム走査線上の点でのビーム照射時間（圧延方向ビーム径/ビーム走査速度）が過度に長くなったりする問題が生じる。よって、ビーム径は $(-0.04 \times v^2 + 6.4 \times v + 190) \mu\text{m}$ 以下とする。

詳細なメカニズムは不明であるが、長時間照射を行うと、熱拡散によって鋼板の膨張領域が面内方向にも拡大するためか、ビーム照射後は、圧延方向の引張残留歪みも大きくなって、騒音特性が劣化する。そのため、ビーム径が大きい場合には、走査速度を増大させるのが好ましい。

[0030] 本発明者らは、ビーム径と $(t + c)$ との関係について調査したところ、図6に示すように、ビーム径が $(-0.04 \times v^2 + 6.4 \times v + 190) \mu\text{m}$ 以下であれば、照射後の $(t + c)$ を抑制できることが判明した。

そこで、本発明では、表面走査速度 v (m/s) とビーム径 d (μm) について、次式 (2)

$$200 \leq d \leq -0.04 \times v^2 + 6.4 \times v + 190 \quad \text{--- (2)}$$

の関係を満足させることにしたのである。

ここで、電子ビームプロファイルは、公知のスリット法によって測定した。スリット幅は $30 \mu\text{m}$ に調整し、得られたビームプロファイルの半値幅をビーム径とした。

また、その他照射エネルギーなどは、WD (Working Distance)、真空度などの条件によって調整範囲、適正值が異なるため、従来知見に基づき適宜調整を行った。レーザの場合、ビーム径は、ナイフエッジ法により得られたビームプロファイルの半値幅とした。

[0031] [鉄損、騒音の評価]

鉄損および騒音は、三相三脚の積み鉄心型の変圧器を模擬した、モデルトランス変圧器を用いて評価を行った。図7に示すように、モデルトランス変圧器の外形は 500mm 角、幅は 100mm の鋼板で構成される。鋼板を、図7に示す形状に斜角切断し、積み厚 : 約 15mm 、鉄心重量 : 約 20kg となるように、 0.23mm 厚の鋼板では 70 枚、 0.27mm 厚の鋼板では 60 枚、 0.20mm 厚の鋼板では 80 枚を積層する。本測定では、斜角剪断した試料の長手方向が圧延方向となるように

した。積層方法は2枚重ねの5段ステップラップ積みとした。具体的には、中央の脚部材（形状B）として、対称の部材（B-1）1種と、非対称の部材（B-2，B-3）2種の計3種（実際には、非対称部材（B-2，B-3）を裏返すことで都合5種）を用い、実際の積み方は例えば「B-3」「B-2」「B-1」「B-2反転」「B-3反転」の順に積む。

鉄心は平面上に平積みし、さらにベークライト製の押さえ板で約0.1MPaの加重で挟み込んで、固定した。三相は120°位相をずらして励磁を行い、磁束密度：1.7Tにおいて、鉄損と騒音の測定を行った。騒音は、鉄心表面より20cm離れた位置（2箇所）にてマイクで測定し、Aスケール補正を行ったdBA単位で表した。

[0032] [素材の成分組成]

本発明が適用される方向性電磁鋼板の素材の成分組成としては、例えば以下の元素が挙げられる。

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。

[0033] C :50質量ppm以下

Cは、熱延板組織の改善のために添加を行うが、最終製品では磁気時効の起こらない50質量ppm以下までCを低減することが好ましい。

[0034] 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。

[0035] 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。

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

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。

また、Sn, Sb, Cu, P, MoおよびCr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阻害されるため、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的不純物およびFeである。

実施例 1

[0036] 本実施例で電子ビーム、レーザ照射した試料は、SST(単板磁気試験器)で測定した圧延方向の B_8 が1.91Tから1.95Tであり、モデルトランスで測定した鉄損 $W_{17/50}$ が1.01から1.03W/kgで、被膜付きの方向性電磁鋼板である。被膜付きの鋼板は、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層の被膜が存在する構造になっている。

電子ビームおよびレーザ照射に際しては、鋼板の圧延直角方向に、鋼板を横切るように全幅にわたり直線状に、かつ圧延方向に5mmの周期的な間隔をあけて走査した。ここで、レーザ照射は、連続発振のファイバーレーザ装置を用いて行い、レーザ波長は1 μ m程度の近赤外光とした。また、圧延方向と圧延直角方向のビーム径は同じとした。さらに、電子ビーム照射は、加速電圧:60kV、ドットピッチ:0.01~0.40mm、収束コイル中心から被照射材までの最短距離:700mm、加工室圧力:0.5Pa以下とした。

[0037] 圧延方向断面の歪み分布は、CrossCourt Ver.3.0 (BLG Productions Brist

ol製)を用いたEBSDi はkinson 法によって測定した。測定視野は、(圧延方向 $600\mu\text{m}$ 以上 $\times$ 全厚)の範囲とし、測定視野のほぼ中央部に、レーザ、電子ビーム照射の中心がくるようにした。また、測定ピッチは $5\mu\text{m}$ とし、測定視野の隅から $50\mu\text{m}$ 離れた同一粒内の位置を無歪み参照点に選んだ。

得られた結果を表 1 に示す。

[0038]

[表1]

表1

記号	熱歪み 導入手法	ビーム径 d (μm)	照射 エネルギー (W)	走査速度 v (m/s)	(2)式における 最大 ビーム径 (μm)	板厚方向 最大引張 歪み (%)	圧延方向 最大引張 歪み t (%)	圧延方向 最大圧縮 歪み c (%)	t+c (%)	変压器鉄損 W _{17/50} (W/kg)	騒音 (dBA)	備考
1	電子ビーム	260	510	30	346	0.11	0.08	0.06	0.14	0.89	35	発明例
2	電子ビーム	250	660	30	346	0.18	0.15	0.13	0.28	0.86	40	発明例
3	電子ビーム	260	420	15	277	0.18	0.14	0.10	0.24	0.85	40	発明例
4	電子ビーム	275	1380	60	430	0.23	0.12	0.12	0.24	0.87	39	発明例
5	電子ビーム	260	720	30	346	0.42	0.14	0.16	0.30	0.86	42	発明例
6	電子ビーム	260	960	30	346	0.39	0.22	0.18	0.40	0.84	45	比較例
7	電子ビーム	275	1020	30	346	0.46	0.25	0.16	0.41	0.91	45	比較例
8	電子ビーム	275	1080	30	346	0.47	0.26	0.17	0.43	0.90	46	比較例
9	電子ビーム	260	420	30	346	0.06	0.05	0.04	0.09	0.96	35	比較例
10	電子ビーム	260	840	30	346	0.13	0.19	0.12	0.31	0.85	43	発明例
11	電子ビーム	320	720	30	346	0.17	0.15	0.10	0.25	0.88	40	発明例
12	電子ビーム	290	960	30	346	0.21	0.22	0.14	0.36	0.86	45	比較例
13	電子ビーム	280	540	30	346	0.12	0.12	0.07	0.19	0.89	36	発明例
14	電子ビーム	285	600	30	346	0.15	0.15	0.09	0.24	0.87	38	発明例
15	レーザ	330	400	30	346	0.23	0.17	0.15	0.32	0.85	43	発明例
16	レーザ	380	650	40	382	0.20	0.17	0.14	0.31	0.87	41	発明例

(2) 式: $\sqrt{0.04 \times V^2 + 6.4 \times V + 190}$

[0039] 表 1 に示したように、板厚方向の最大引張歪みが 0.45% 以下で、圧延方向の最大引張歪み t と最大圧縮歪み c の合計 ($t + c$) が 0.35 以下を満足する場合には、0.90W/kg 以下という低鉄損と 45dBA 未満という低騒音の両者を満足する方向性電磁鋼板が得られることが分かる。

請求の範囲

[請求項 1] 圧延方向を横切るように線状に形成された還流磁区を、圧延方向に周期的に有する方向性電磁鋼板において、上記還流磁区が形成された領域の圧延方向断面における歪み分布について、板厚方向の最大引張歪みが 0.45% 以下で、かつ圧延方向の最大引張歪み t (%) と最大圧縮歪み c (%) とが、次式 (1)

$$t + 0.06 \leq t + c \leq 0.35 \quad \text{--- (1)}$$

の関係を満たすことを特徴とする方向性電磁鋼板。

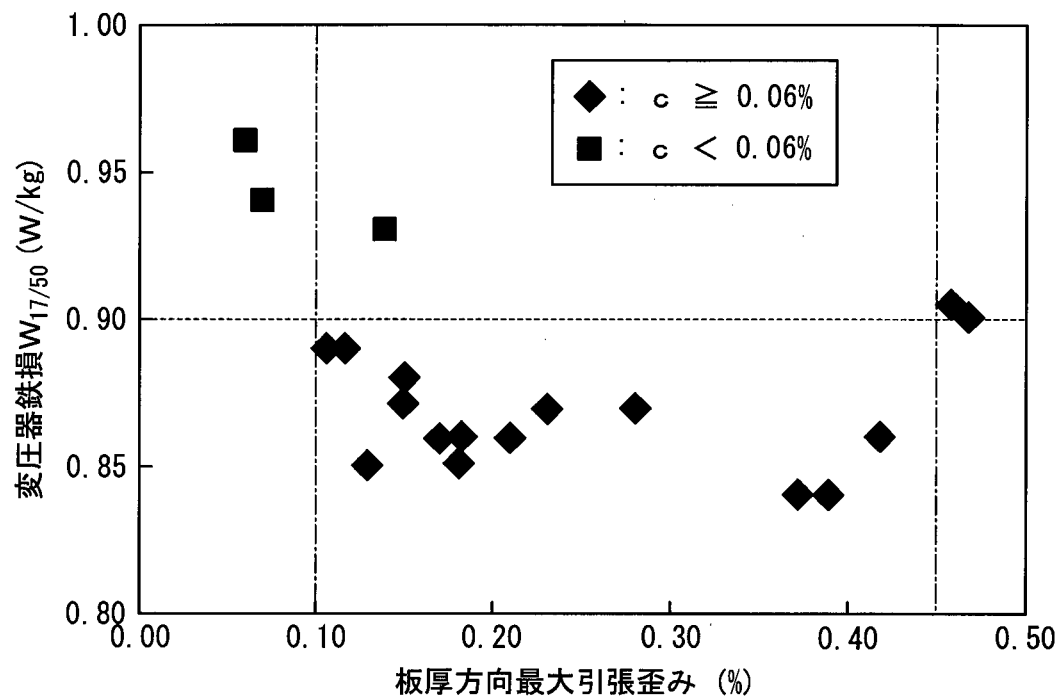
[請求項 2] 鋼板の圧延方向を横切るように高エネルギービームを照射するに際し、圧延直角方向から 30° 以内の角度の方向に、圧延方向に $10\mu\text{m}$ 以下の周期的な間隔で、しかも鋼板上の表面走査速度 v (m/s) とビーム径 d (μm) とが、次式 (2)

$$200 \leq d \leq -0.04X \ v^2 + 6.4X \ v + 190 \quad \text{--- (2)}$$

の関係を満足する条件で高エネルギービームを照射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の製造方法。

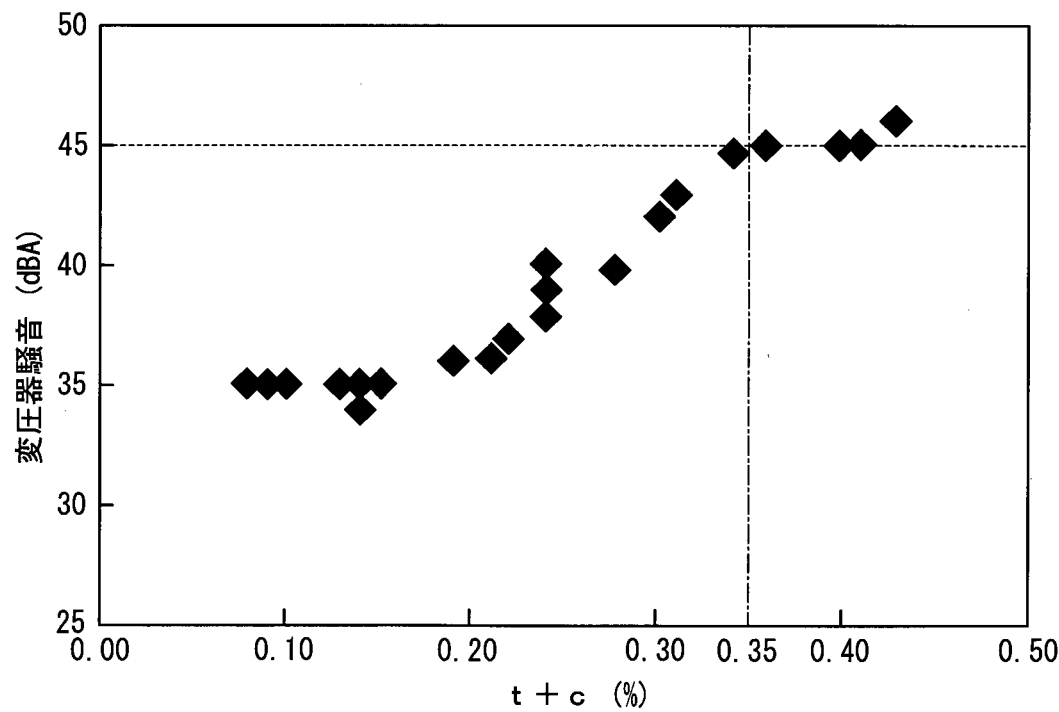
[図1]

FIG. 1



[図2]

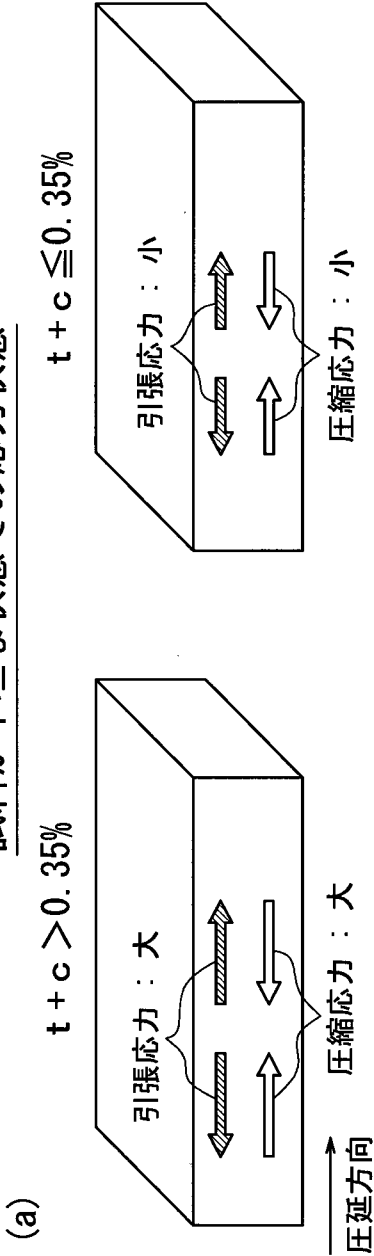
FIG. 2



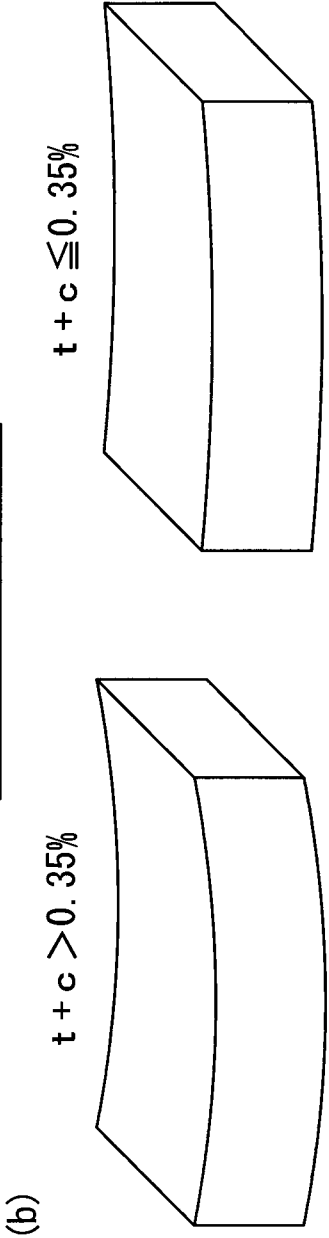
[図3]

FIG. 3

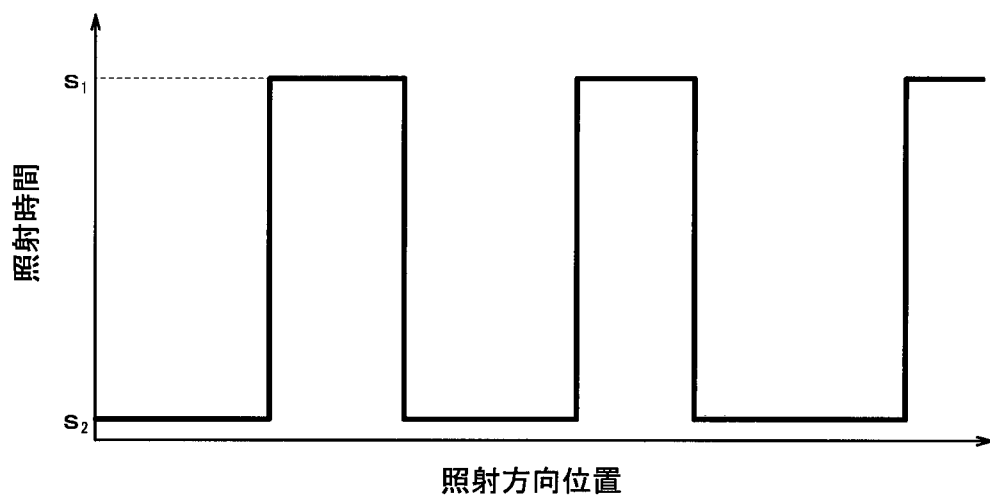
試料が平坦な状態での応力状態



試料に外力が無い状態



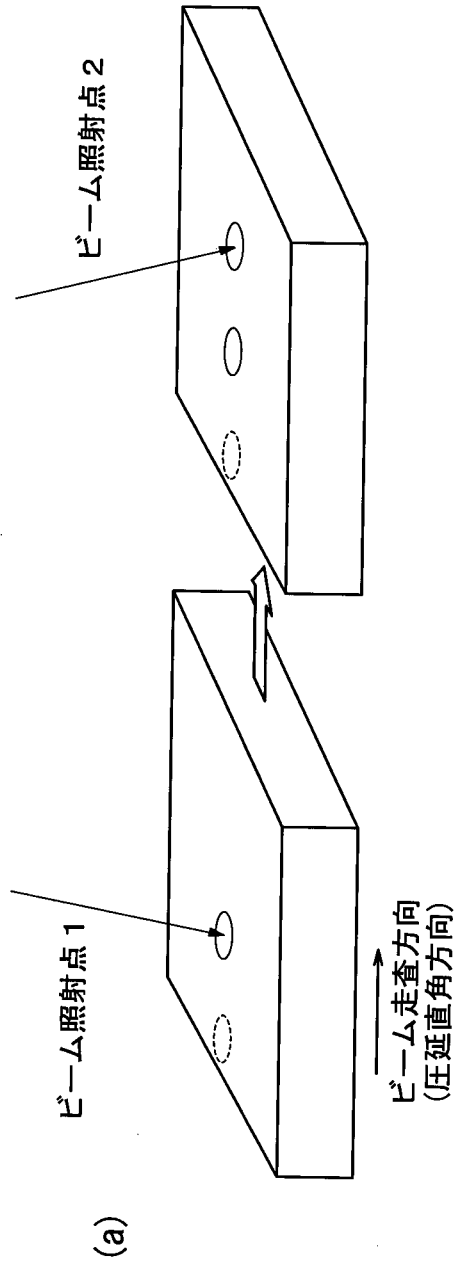
[図4]

FIG. 4

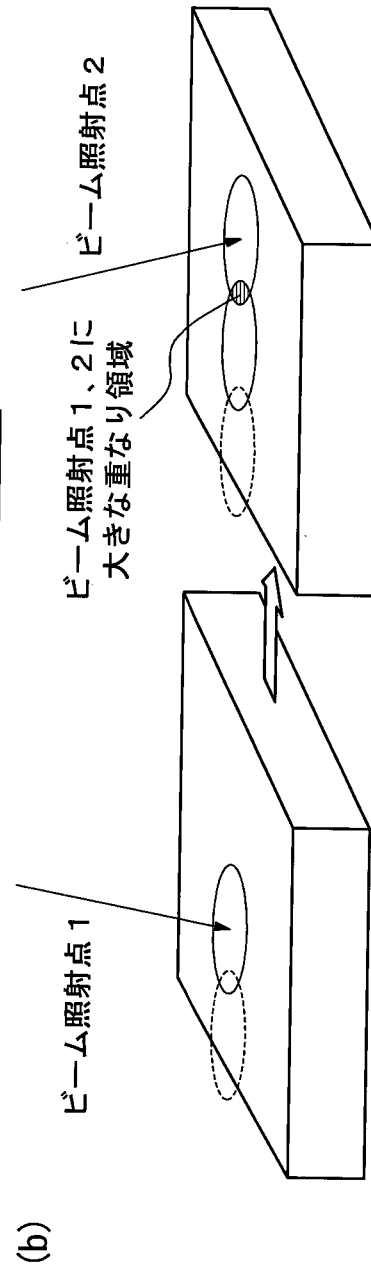
[図5]

FIG. 5

ビーム径が小さい場合

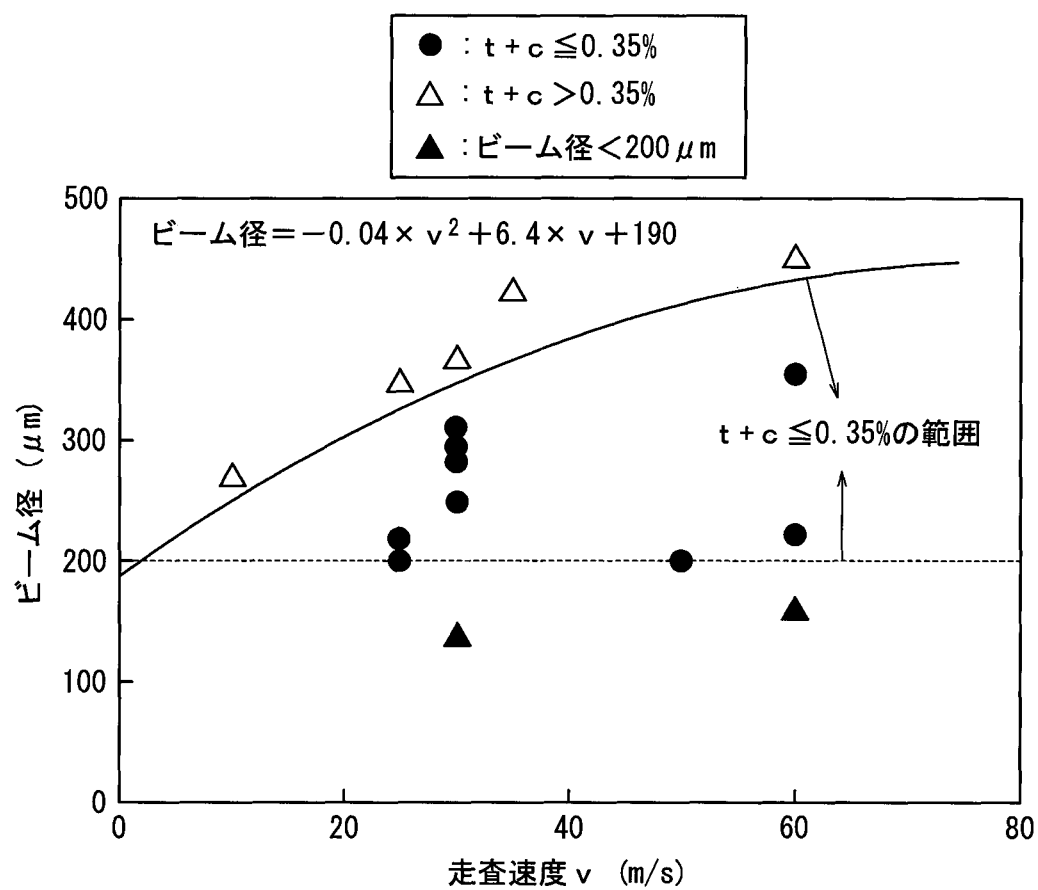


ビーム径が大さい場合



[図6]

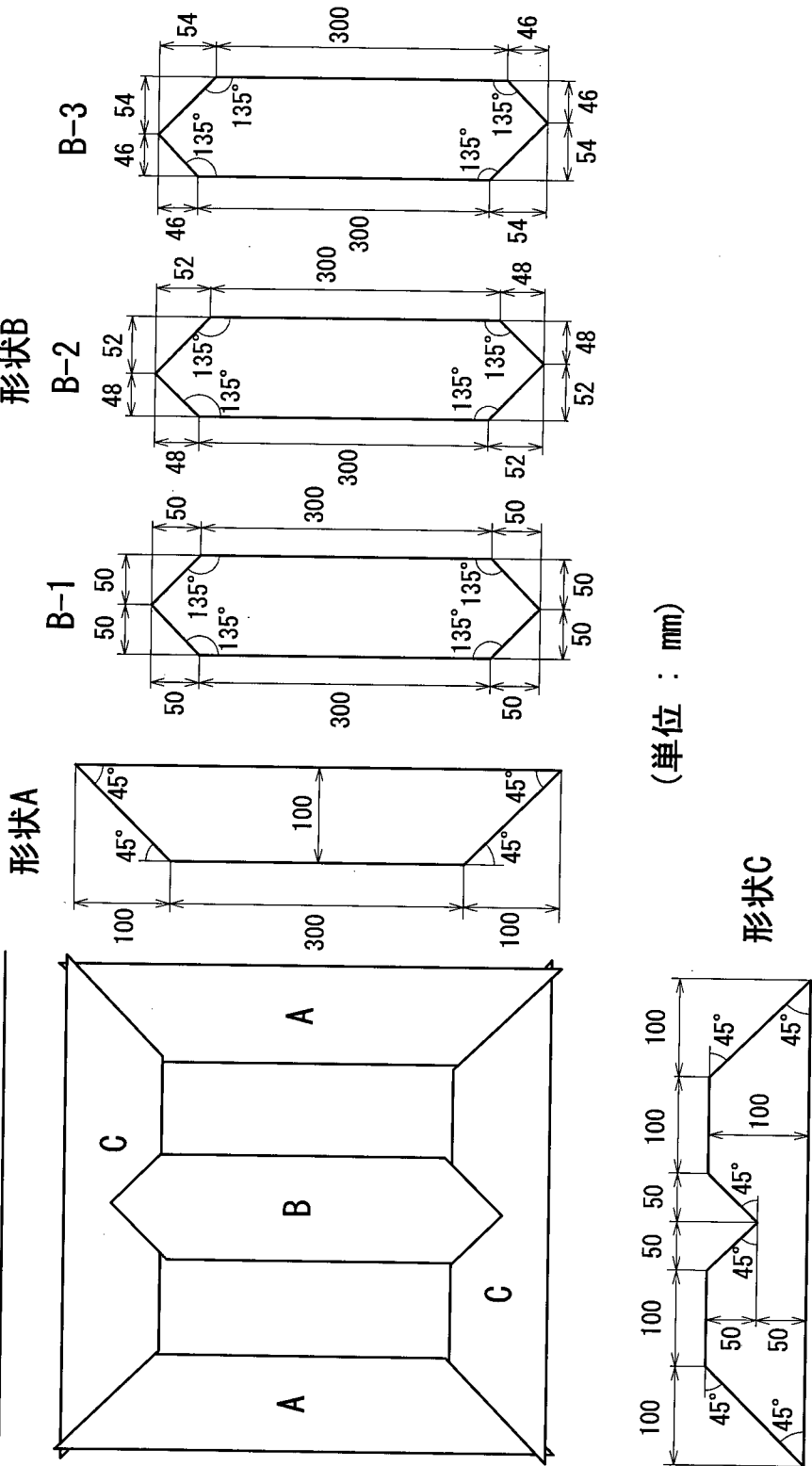
FIG. 6



[図7]

FIG. 7

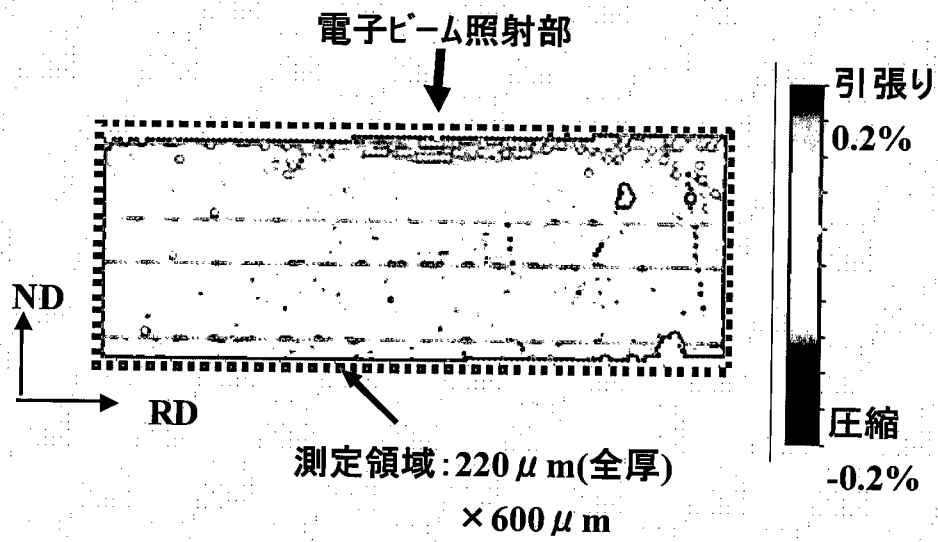
モデルトランス変圧器鉄心形状



[図8]

FIG. 8

EBSD法で測定したRD歪み分布



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 012 / 084307

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C3 8/00 (2006.01)i, C21D8/12 (2006.01)i, C22C3 8/60 (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, C21D8/12, C22C38/60, 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 5-335128 A (Kawasaki Steel Corp.), 17 December 1993 (17.12.1993), paragraphs [0012] to [0023], [0027] to [0029]; figs. 2, 3 & US 5411604 A & EP 0571705 A2 & DE 69317810 T2 & CA 2088326 A1 & KR 10-0128214 B	1-2
A	JP 59-229419 A (Nippon Steel Corp.), 22 December 1984 (22.12.1984), claims; page 2, lower left column, line 8 to lower right column, line 5; table 1 (Family: none)	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
09 April, 2013 (09.04.13)Date of mailing of the international search report
16 April, 2013 (16.04.13)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 / 084307

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 61-51803 A (Kawasaki Steel Corp.), 14 March 1986 (14.03.1986), claims (Family : none)	1-2

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00 (2006. 01) i , C21D8/12 (2006. 01) i , C22C38/60 (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 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00, C21D8/12, C22C38/60, 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	1 9 2 2 - 1 9
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0

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)

6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 5-335128 A (川崎製鉄株式会社) 1993. 12. 17, 【D012】 - 【D023】 , 【D027】 - 【D029】 , 【図2】 , 【図3】 & US 5411604 A & EP 0571705 A2 & DE 69317810 T2 & CA 2088326 A1 & KR 10-0128214 B	1 - 2
A	JP 59-229419 A (新日本製鐵株式会社) 1984. 12. 22, 特許請求の範囲, 第2頁左下欄第8行 - 右下欄第5行, 第1表 (ファミリーなし)	1 - 2
A	JP 61-51803 A (川崎製鉄株式会社) 1986. 03. 14, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1 - 2

Γ 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

IA」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

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

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)

IΘ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

IP」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「」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

「」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

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

I&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 9 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 3 5

4 K

3 6 4 0