

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5761375号  
(P5761375)

(45) 発行日 平成27年8月12日(2015.8.12)

(24) 登録日 平成27年6月19日(2015.6.19)

(51) Int.Cl.	F 1
C 22 C 38/00 (2006.01)	C 22 C 38/00 303 U
C 21 D 8/12 (2006.01)	C 21 D 8/12 D
H 01 F 1/16 (2006.01)	H 01 F 1/16 B

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-550134 (P2013-550134)	(73) 特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(86) (22) 出願日	平成24年12月21日(2012.12.21)	(74) 代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86) 国際出願番号	PCT/JP2012/008202	(74) 代理人	100165696 弁理士 川原 敏祐
(87) 国際公開番号	W02013/094218	(72) 発明者	▲高▼城 重宏 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(87) 国際公開日	平成25年6月27日(2013.6.27)	(72) 発明者	岡部 誠司 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
審査請求日	平成25年11月19日(2013.11.19)	審査官	鈴木 葉子
(31) 優先権主張番号	特願2011-282271 (P2011-282271)		
(32) 優先日	平成23年12月22日(2011.12.22)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】方向性電磁鋼板およびその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【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電子ビームの照射によって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ビッター法で測定し、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。

10

## 【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L、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。

## 【発明の詳細な説明】

## 【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

20

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、1.97Tを超える磁束密度B<sub>8</sub>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<100>方向を圧延方向に揃える」ことは、磁束密度B<sub>8</sub>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<100>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<sub>17/50</sub>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4123679号公報

【特許文献2】特許第3386727号公報

【特許文献3】特許第4585101号公報

【特許文献4】特公平2-8027号公報

【特許文献5】特公平7-65106号公報

【特許文献6】特公平3-13293号公報

【特許文献7】特許第4091749号公報

【特許文献8】特許第4344264号公報

【非特許文献】

【0010】

【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

10

20

30

40

50

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0011】**

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、渦電流損を十分を低下させ、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。

10

**【0012】**

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。

20

**【0013】**

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。

**【0014】**

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。

30

**【課題を解決するための手段】****【0015】**

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って、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。

**【0016】**

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、照射前にあっ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(角)が、理想的な<100>方向から数。ずれている場合に生じる静磁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。

40

かの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。

**【0017】**

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。

50

## 【0018】

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電子ビームの照射によって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)

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

の関係を満足することを特徴とする方向性電磁鋼板。

10

## 【0019】

2. 前記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L、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。

20

また、本発明の方向性電磁鋼板は、ヒステリシス損が低いだけでなく、1.7T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。

30

## 【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。

40

## 【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。

50

## 【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( $i = 1 \sim N$ 、N:全結晶粒数)に対して、その面積率 $S_i$ とその結晶粒内に存在する領域Xの数 $n_i$ を測定し、 $(i = 1, N) S_i \times n_i$ 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、幅方向の平均値を探すこととする。

10

## 【0026】

なお、還流磁区領域Xの幅の測定に際しては、ピッター法を用いる。

ここに、ピッター法とは、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。

20

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)

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

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)

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

30

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。

40

## 【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、0.3~10個程度とすること

50

が望ましい。

また、還流磁区領域Xの幅wは、30~320μm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L、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diとして、 $D = (i = 1, N) S_i \times d_i$ 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) 0.003W/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書きいた場合、歪みの導入が多くなり、ヒステリシス損が増大しやすいうことから、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<sub>8</sub>が1.85~1.95Tで、地鉄の表面に、Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>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<sub>1</sub>)と短時間(s<sub>2</sub>)を繰り返すようにしてを行い、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<sub>2</sub>はs<sub>1</sub>に対して十分に短く無視できるため、s<sub>1</sub>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2Pa以下とした。

一方、レーザ照射の場合は、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、圧延方向の繰返し間隔は3~50mmとした。レーザは、連続照射の場合はファイバーレーザを、パルス照射の場合はYAGレーザをそれぞれ用い、いずれも波長:1064nm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、マグネットビュアー(シグマハイケミ

10

20

30

40

50

カル社製MV-95)を用いたピッター法により、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：5Lを20L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10L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、マグネットビュ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 $Wh_{17/50}$ 、照射後のヒステリシス損の改善量 $Wh_{17/50}$ (照射前の値-照射後の値)および渦電流損の改善量 $We_{17/50}$ (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。10

さらに、表1には、照射前の保磁力Hcおよび照射後の保磁力改善量Hc(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5MPa超～10MPa以下、Cは5MPa以下の場合である。

#### 【0039】

【表1】

No.	領域Xの導入方法	被膜張力 ( $\mu$ m)	s (個)	条件式 の適否	ヒステリシス損 $Wh_{17/50}$ (W/kg)	ヒステリシス損 改善量 $\Delta Wh_{17/50}$ (W/kg)	渦電流損 改善量 $\Delta We_{17/50}$ (W/kg)	保磁力 $H_c$ (A/m)	保磁力 改善量 $\Delta H_c$ (A/m)	備考
1	電子ビーム	A	325	1.1	×	0.306	-0.003	0.065	5.74	0.22
2	電子ビーム	A	305	1.2	×	0.300	-0.002	0.060	5.54	0.31
3	電子ビーム	A	295	1.0	○	0.283	0.003	0.064	5.48	0.37
4	電子ビーム	B	270	1.3	○	0.261	0.004	0.076	5.58	0.26
5	電子ビーム	A	235	1.3	○	0.286	0.008	0.071	5.78	0.38
6	電子ビーム	A	290	1.7	×	0.294	-0.003	0.072	5.73	0.21
7	電子ビーム	C	270	2.0	○	0.284	0.011	0.078	5.59	0.52
8	電子ビーム	A	210	2.3	○	0.292	0.012	0.105	5.57	0.45
9	電子ビーム	A	250	2.9	×	0.305	-0.004	0.095	5.67	0.28
10	電子ビーム	A	195	3.1	○	0.278	0.006	0.085	5.54	0.28
11	電子ビーム	A	220	4.2	×	0.294	-0.015	0.086	6.17	-0.17
12	電子ビーム	A	210	3.8	○	0.268	0.003	0.075	5.48	0.25
13	電子ビーム	A	200	5.0	×	0.278	-0.021	0.114	6.36	-0.46
14	電子ビーム	A	190	4.8	×	0.276	-0.014	0.116	6.12	-0.29
15	レーザ	A	150	4.9	○	0.246	0.004	0.062	5.40	0.21
16	レーザ	C	170	2.1	○	0.255	0.010	0.062	5.62	0.50
17	レーザ	A	150	1.2	×	0.251	-0.001	0.043	5.56	0.15
18	レーザ	A	105	3.7	×	0.267	0.000	0.053	5.68	0.16
19	レーザ	A	120	4.7	○	0.262	0.004	0.066	5.48	0.21
20	レーザ	A	85	3.4	×	0.273	0.001	0.041	5.72	0.20
21	電子ビーム	A	265	1.8	○	0.285	0.013	0.132	5.30	0.65
22	電子ビーム	A	255	2.2	○	0.287	0.012	0.138	5.23	0.69

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

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限り改善されていることが分かる。また、保磁力  $H_c$ 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  $Wh_{17/50}$  および保磁力改善量  $H_c$  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度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】

10

【表2】

No.	領域Xの導入方法	板厚 (mm)	被膜張力 ( $\mu$ m)	s (個)	条件式の適否	ヒステリシス損 $Wh_{17/50}$ (W/kg)	ヒステリシス損改善量 $\Delta Wh_{17/50}$ (W/kg)	渦電流損改善量 $\Delta We_{17/50}$ (W/kg)	保磁力 $H_c$ (A/m)	保磁力改善量 $\Delta H_c$ (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
24	電子ビーム	0.18	A	210	5.0	○	0.295	0.010	0.222	6.21	0.61
25	電子ビーム	0.19	A	345	5.0	×	0.298	0.002	0.263	6.12	0.32
26	電子ビーム	0.19	A	260	1.3	○	0.280	0.012	0.136	5.59	0.66
27	電子ビーム	0.19	A	260	2.5	○	0.286	0.013	0.201	5.89	0.39
28	電子ビーム	0.19	A	220	4.0	○	0.284	0.007	0.194	6.12	0.11
29	電子ビーム	0.24	A	270	1.4	○	0.286	0.004	0.120	5.22	0.04
30	電子ビーム	0.24	A	270	2.2	×	0.273	-0.012	0.142	5.27	-0.13
31	電子ビーム	0.24	A	270	3.3	×	0.272	-0.018	0.162	5.40	-0.18
32	電子ビーム	0.24	A	210	5.0	×	0.268	-0.028	0.174	5.42	-0.23

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

表2

## 【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】

10

20

30

40

50

## (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

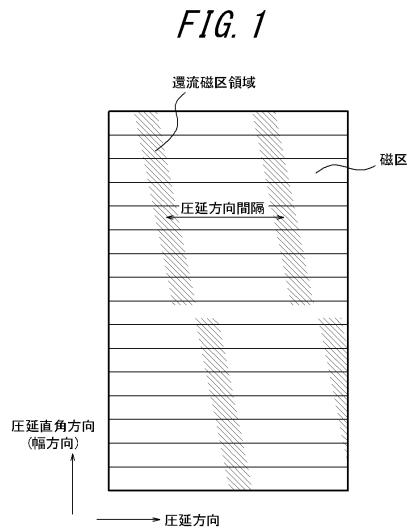
記号	変圧器騒音(dBA)		備考
	照射前	照射後	
13	36	38	比較例
22	35	34	発明例
27	34	33	発明例

【0046】

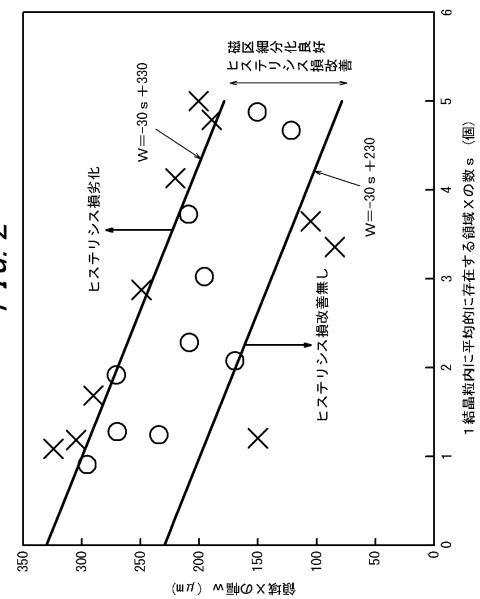
比較例として示したNo.13の鋼板を用いた場合には、磁区細分化処理後に騒音が増大した。これは、鋼板に過度の還流磁区が形成されて、磁気歪みが大きくなつたためと推定される。

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つたものと考えられる。

【図1】



【図2】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平11-279645(JP, A)  
特許第4510757(JP, B2)  
特開平03-072027(JP, A)  
特開平03-072026(JP, A)  
特開2002-012918(JP, A)  
国際公開第2004/083465(WO, A1)  
特開昭63-262421(JP, A)  
特開昭58-144424(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 21 D 8 / 12 , 9 / 46