

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6832434号
(P6832434)

(45) 発行日 令和3年2月24日(2021.2.24)

(24) 登録日 令和3年2月3日(2021.2.3)

(51) Int. Cl.	F I
C 2 1 D 8/12 (2006.01)	C 2 1 D 8/12 D
H O 1 F 1/147 (2006.01)	H O 1 F 1/147 1 8 3
B 2 3 K 26/364 (2014.01)	B 2 3 K 26/364
B 2 3 K 26/00 (2014.01)	B 2 3 K 26/00 N
B 2 3 K 26/073 (2006.01)	B 2 3 K 26/073

請求項の数 9 (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2019-534755 (P2019-534755)	(73) 特許権者	592000691
(86) (22) 出願日	平成29年12月20日 (2017.12.20)		ポスコ
(65) 公表番号	特表2020-504783 (P2020-504783A)		POSCO
(43) 公表日	令和2年2月13日 (2020.2.13)		大韓民国 キョンサンブクード ポハン-
(86) 国際出願番号	PCT/KR2017/015128		シ ナム-グ ドンヘアン-ロ 6 2 6 1
(87) 国際公開番号	W02018/131819		(コエドンドン)
(87) 国際公開日	平成30年7月19日 (2018.7.19)	(74) 代理人	110000051
審査請求日	令和1年6月24日 (2019.6.24)		特許業務法人共生国際特許事務所
(31) 優先権主張番号	10-2016-0177082	(72) 発明者	クォン, オ ヨル
(32) 優先日	平成28年12月22日 (2016.12.22)		大韓民国 3 7 8 5 9 キョンサンブク-
(33) 優先権主張国・地域又は機関	韓国 (KR)		ード ポハン-シ, ナム-グ, ドンヘアン-
			ロ, (ゴドンドン) 6 2 6 1, ポスコ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スラブから熱間圧延および冷間圧延された鋼板を準備する段階と、
レーザービームの出力に対する時間波形において、[出力変調周期時間] (Ta) に対する [最大出力 (Pmax) の 10% 以上の出力で照射した時間] (Tb) の比 (Tb / Ta) をデューティとして、前記デューティが 98.0 ~ 99.9% の準連続レーザービームを前記鋼板の表面に照射して溝を形成する段階と、を行ない、

前記準連続レーザービームの幅 (W) に対するレーザービームの平均出力 (P) の比 (P / W) は、30 W / μm ~ 300 W / μm であることを特徴とする方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

10

【請求項 2】

前記準連続レーザービームの周波数は、100 Hz ~ 8 kHz であ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磁区の微細化方法。

【請求項 3】

前記準連続レーザービームの鋼板の幅方向へのビーム長さ (L) に対する前記準連続レーザービームの幅 (W) の比 (W / L) は、0.1 ~ 0.86 であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

【請求項 4】

前記準連続レーザービームは、TEM00モードであり、ビームの品質ファクター (factor) である M2 が 1.0 ~ 1.1 であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3

20

のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

【請求項 5】

前記溝を鋼板の幅方向に断続的に 3 ~ 8 個形成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

【請求項 6】

前記溝は、線状であり、電磁鋼板の圧延方向に対し、 82° ~ 98° の角度で形成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

【請求項 7】

前記溝の深さ (D) を鋼板の厚さの 3 % ~ 8 % で形成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

10

【請求項 8】

前記溝を形成する段階の後に、
脱炭焼鈍して鋼板の表面に酸化層を形成する段階と、
前記酸化層が形成された鋼板の表面に焼鈍分離剤を塗布して高温焼鈍して鋼板の表面に非金属酸化物層を形成する段階と、
をさらに行うことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

【請求項 9】

前記非金属酸化物層を形成する段階の後に、
前記非金属酸化物層上に絶縁コート層を形成する段階をさらに行うことを特徴とする請求項 8 に記載の方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法に関する。

【背景技術】

【0002】

方向性電磁鋼板は、変圧器などの電磁気製品の鉄心材料に使われるので、機器の電力損失を減らすことによりエネルギー変換効率を向上させるためには、鉄心素材の鉄損が優れ、積層および巻き取り時の占積率が高い鋼板が求められる。

30

【0003】

方向性電磁鋼板は、熱延、冷然および焼鈍工程により 2 次再結晶された結晶粒が圧延方向に { 1 1 0 } < 0 0 1 > 方向に配向された集合組織 (別名「Goss Texture」ともいう) を有する機能性鋼板をいう。

回復 (Recovery) が現れる熱処理温度以上の応力緩和熱処理後にも鉄損改善効果を現わす永久磁区の微細化方法は、エッチング法、ロール法およびレーザー法に分けられる。

【0004】

エッチング法は、溶液内の選択的な電気化学反応により鋼板の表面に溝 (groove) を形成させるので、溝形状を制御することが難しく、最終製品の鉄損特性を幅方向に均一に確保することが難しい。さらに、溶媒として使用する酸溶液により環境にやさしくない短所がある。

40

【0005】

ロールによる永久磁区の微細化方法は、突起のあるロールで板を加圧して板の表面に一定の幅と深さを有する溝を形成し、これを焼鈍することによって、溝下部に部分的に再結晶を発生させて鉄損改善効果を現わす磁区の微細化技術である。ロール法は、機械加工に対する安定性、厚さに応じた安定した鉄損確保を得ることが難しいなど信頼性およびプロセスが複雑であり、溝形成の直後 (応力緩和焼鈍前) の鉄損と磁束密度の特性が劣るとい

50

う短所がある。

【0006】

レーザーによる永久磁区の微細化方法は、高出力のレーザーを高速に移動する電磁鋼板の表面部に照射し、レーザー照射によって基地部の熔融を伴う溝 (groove) を形成させる方法である。この時用いられるレーザーとしてはQスイッチ (Q-Switch) レーザーあるいはパルスレーザー、および連続波レーザーがある。

【0007】

連続波レーザーによる永久磁区の微細化方法は、溝形成時の溝部の再凝固層を溝の全面部に均一に形成させることができないことによって、溝下部の基地部に過度な変形を誘導するので、1次再結晶前あるいは後の工程に適用することが難しく、溝下部の再凝固層が側面部に比べて薄いので、脱炭焼鈍時の酸化層の厚さが薄く、絶縁コート後フォルステライト (Forsterite) 層とフォルステライト/絶縁コート層との界面が脆弱であり、密着性が劣る短所がある。

10

【0008】

Qスイッチあるいはパルスレーザーによる永久磁区の微細化方法は、照射時の照射部物質の蒸発を用いて溝を形成し、再凝固層形成とは関係ないので、連続的な溝形成後の1次再結晶時に溝部の熱影響による再結晶挙動による2次再結晶形成が不安定であるため、磁性特性が劣る短所がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0009】

磁性および密着特性を改善する方向性電磁鋼板の磁区の微細化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】

【0010】

本発明の一実施例による方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法は、方向性電磁鋼板を準備する段階と、方向性電磁鋼板の表面にデューティが98.0~99.9%の準連続レーザービームを照射して溝を形成する段階を行う。ここで、デューティは、レーザービームの出力に対する時間波形において、[出力変調周期時間] (T_a) に対する[最大出力 (P_{max}) の10%以上の出力で照射した時間] (T_b) の比 (T_b / T_a) である。

30

【0011】

準連続レーザービームの周波数は、100Hz~8kHzであることができる。準連続レーザービームの幅 (W) に対するレーザービームの平均出力 (P) の比 (P / W) は、 $30W / \mu m \sim 300W / \mu m$ であることができる。準連続レーザービームの鋼板の幅方向へのビーム長さ (L) に対する鋼板圧延方向へのビーム幅 (W) の比 (W / L) は、0.1~0.86であることができる。準連続レーザービームは、TEM00モードであり、ビーム品質のファクター (factor) であるM2が1.0~1.1であることができる。

【0012】

40

溝を鋼板の幅方向に断続的に3~8個形成することができる。溝は線状で、電磁鋼板の圧延方向に対し、 $82^\circ \sim 98^\circ$ の角度で形成することができる。溝の深さ (D) を鋼板の厚さの3%~8%で形成することができる。

【0013】

溝を形成する段階の後に、脱炭焼鈍または窒化焼鈍して鋼板の表面に酸化層を形成する段階と、酸化層が形成された鋼板の表面に焼鈍分離剤を塗布し、高温焼鈍して鋼板の表面に非金属酸化物層を形成する段階をさらに行うことができる。また、非金属酸化物層を形成する段階の後に、非金属酸化物層上に絶縁コート層を形成する段階をさらに行うことができる。

【発明の効果】

50

【0014】

本発明の一実施例によれば、永久磁区の微細化による磁束密度の不均一をなくすことができ、鉄損改善率を向上させることができる。

また、本発明の一実施例によれば、最終絶縁コート後の鋼板および絶縁コート層の密着性に優れる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一実施例による方向性電磁鋼板の表面の模式図である。

【図2】準連続レーザービームの出力に対する時間波形である。

【図3】準連続レーザービームの出力に対する時間波形である。

【図4】鋼板の表面でのレーザービームの形状を概略的に示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

第1、第2および第3等の用語は、多様な部分、成分、領域、層および/またはセクションを説明するために使用するが、これらに限定されない。これらの用語は、ある部分、成分、領域、層またはセクションを他の部分、成分、領域、層またはセクションと区別するためにのみ使用される。したがって、以下で叙述する第1の部分、成分、領域、層またはセクションは、本発明の範囲を逸脱しない範囲内で第2の部分、成分、領域、層またはセクションと言うこともできる。ここで使用される専門用語は、単に特定の実施例を説明するためのものであり、本発明を限定することを意図しない。ここで使用される単数表現は、文言がこれと明確に反対の意味を示さない限り複数をも含むものである。明細書で使用される「含む」の意味は、特定の特性、領域、定数、段階、動作、要素および/または成分を具体化し、他の特性、領域、定数、段階、動作、要素および/または成分の存在や付加を除外するものではない。ある部分が他の部分「上に」または「の上に」あると言う場合、これは他の部分のすぐ上にまたは上方にあるか、その間に他の部分を伴うことができる。対照的に、ある部分が他の部分の「すぐ上に」あると言う場合、その間に他の部分が介在しない。

【0017】

他に定義のない限り、本願で用いられる技術用語及び科学用語を含む全ての用語は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者により普通に理解される意味と同じ意味を持つ。一般に用いられている辞書で定義されているような用語は、関連技術文献と現在開示されている内容に合う意味を持つものと追加解釈され、定義されていない限り理想的や公式的過ぎる意味に解釈されない。

【0018】

以下、本発明の実施例について本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が容易に実施できるように詳細に説明する。しかし、本発明は様々な異なる形態で具現することができ、ここで説明する実施例に限定されない。

【0019】

本発明の一実施例による方向性電磁鋼板の磁区の微細化方法は、方向性電磁鋼板を準備する段階と、方向性電磁鋼板の表面にデューティが98.0~99.9%の準連続レーザービームを照射して溝を形成する段階を行う。

【0020】

図1では本発明の一実施例によって磁区の微細化された方向性電磁鋼板10の模式図を示している。図1に示すように、方向性電磁鋼板10の表面には圧延方向に沿って複数個の溝20が形成される。以下では各段階別に詳細に説明する。

【0021】

まず、方向性電磁鋼板を準備する。本発明の一実施例ではレーザービームの照射条件を制御することによって、磁性を向上させるためのものとして、磁区の微細化の対象となる方向性電磁鋼板は制限なしに用いることができる。特に、方向性電磁鋼板の合金組成とは関係なく本発明の効果が発現する。以下では一例として方向性電磁鋼板の合金成分につい

10

20

30

40

50

て説明する。

【0022】

方向性電磁鋼板は、全体組成100重量%を基準にO：0.0020～0.0080%、Si：2.5～4.0%、C：0.02～0.10%、Al：0.02～0.04%、Mn：0.05～0.20%、N：0.002～0.012%、S：0.001%～0.010%、およびP：0.01～0.08%で、残部がFeとその他不可避不純物からなっている。不可避不純物としては、Ni、Cr、Sbおよび希土類などがあり、不純物の総重量は0.1重量%以内である。

【0023】

合金成分の限定に対する理由は、以下のとおりである。Siは、2.5%以上添加すると、比抵抗を増加させて鉄損を改善させることができるが、4.0%を超えると、板の脆性が増すことによって、機械的特性が低下することがある。Cは、0.02%以上添加されて熱間圧延時の組織を均一にし、連続鋳造で発生する柱状晶組織の成長を抑制することができるが、0.10%を超えると、脱炭焼鈍時間が増加して1次再結晶粒が微細となり、2次再結晶温度が低くなることによって磁性特性が低下することがある。Alは、0.02%以上添加されることによって、窒化物形態で結晶粒成長抑制剤として作用する。しかし、0.04%を超えると、窒化物が析出して抑制剤としての役割が低下することがある。Mnは、0.05%以上添加され、硫化物を形成して結晶粒成長抑制剤の役割をする。しかし、0.20%を超えると、1次再結晶粒を小さくして2次再結晶を不安定にし、Mn酸化物を形成して鉄損となることがある。Nは、0.002%以上添加されて結晶粒成長抑制剤の役割をする。しかし、0.012%を超えると、プリスター（Blister）の表面欠陥を誘発することがある。Sは、0.001%以上添加され、硫化物を形成して結晶粒成長抑制剤の役割をする。しかし、0.010%を超えると、硫化物が形成して結晶粒成長抑制剤として作用するのが難しくなることがある。Pは、0.01%以上添加されると、{110}<001>集合組織の成長を促進する。しかし、0.08%を超えると、鋼の脆性が増すことがある。Oは、スラブ中に0.0020～0.0080%含まれた状態で1次再結晶焼鈍過程でOが追加的に鋼板に侵入し、鋼中の酸素含有量を増加させる。したがって、鋼中の酸素含有量が通常酸素含有量より多い状態で素地鋼板の酸化層が形成され、このような酸化層は、以後2次再結晶焼鈍時のMgの拡散が容易に起きる。したがって、素地鋼板側に侵入したフォルステライトなど非金属酸化物層を形成することができる。

【0024】

本発明の一実施例では、方向性電磁鋼板は、スラブから熱間圧延および冷間圧延により所定の厚さで圧延された方向性電磁鋼板を用いている。

【0025】

次いで、準備した方向性電磁鋼板の表面に準連続レーザービームを照射して溝を形成する。本発明の一実施例では既に知られているパルスレーザーや連続波レーザーでなく、準連続レーザービームを照射する。具体的にはデューティが98.0～99.9%の準連続レーザービームを照射する。本発明の一実施例では準連続レーザービームを照射することによって、溝下部に凝固合金層が適切な厚さで均一に形成され、スパッタ再凝固による融着物トラップ（trap）を最小化することによって、磁性を向上させ、絶縁コート層との密着力を確保することができる。

【0026】

図2および図3は準連続レーザービームの出力に対する時間波形を示す。ここで、デューティは、[出力変調周期時間]（ T_a ）に対する[最大出力（ P_{max} ）の10%以上の出力で照射した時間]（ T_b ）の比（ T_b / T_a ）を意味する。図2のようにレーザービームの出力に対する時間波形がOn/Offで示される場合、デューティは、[出力変調周期時間]（ T_a ）に対する[レーザー照射時間]（ T_b ）の比（ T_b / T_a ）である。図3のようにレーザービームの出力に対する時間波形がOn/Offでない曲線形態で示される場合、デューティは、[出力変調周期時間]（ T_a ）に対する[最大出力（ P_m

10

20

30

40

50

a_x)の10%以上の出力で照射した時間] (T_b) の比 (T_b/T_a) を意味する。

【0027】

準連続レーザービームのデューティは、98.0~99.9%である。デューティが過度に小さいと、連続的な線状溝を形成することができず、磁性面で問題が発生することがある。デューティが過度に大きいと、連続発進レーザービームと類似し、溝下部に形成される凝固合金層が過度に薄く形成され、絶縁コート層との密着特性が劣ることになる。

【0028】

準連続レーザービームの周波数は、100Hz~8kHzである。周波数がこの範囲を超えると、レーザー照射時の熔融物の飛散が異常な挙動を現わすことによって溝下部および側部にスパッタラップ(Trap)が現れることがある。より具体的には準連続レーザービームの周波数は、3kHz~6kHzである。

【0029】

準連続レーザービームの幅(W)に対するレーザービームの平均出力(P)の比 (P/W) は、 $30W/\mu m \sim 300W/\mu m$ である。準連続レーザービームの幅(W)に対するレーザービームの平均出力(P)の比 (P/W) を前述した範囲に調節して溝下部に均一な凝固合金層を形成する。準連続レーザービームの幅(W)に対するレーザービームの平均出力(P)の比 (P/W) が過度に小さいと、溝下部に形成される凝固合金層の厚さが過度に薄くなるので、その後の脱炭焼鈍時に形成される酸化層の厚さが過度に薄くなる問題がある。準連続レーザービームの幅(W)に対するレーザービームの平均出力(P)の比 (P/W) が過度に大きいと、溝下部に形成される凝固合金層の厚さが過度に厚く現れるので、基地部に熱影響が増加する。結局、脱炭焼鈍時の溝下部で再結晶が形成されることによって、2次再結晶が形成されない問題がある。より具体的には準連続レーザービームの幅(W)に対するレーザービームの平均出力(P)の比 (P/W) は、 $35W/\mu m \sim 250W/\mu m$ である。

【0030】

図4に、鋼板表面でのレーザービームの形状を概略的に示す。図4に示すように、本発明の一実施例では、レーザービームの形状は楕円形である。レーザービームの形状が楕円形であると、連続的な線状の溝の形成に有利である。具体的には準連続レーザービームの鋼板の幅方向へのビーム長さ(L)に対する鋼板圧延方向へのビーム幅(W)の比 (W/L) は、0.1~0.86である。

【0031】

レーザーは、TEM₀₀モードであり、ビーム品質ファクター(factor)であるM²が1.0~1.1である。この時、用いられるレーザーの出力は、0.5~5kWである。

【0032】

また、溝20は、電磁鋼板の圧延方向に対し82°~98°で形成する。溝20を90°を含まない斜線型で形成することによって、反磁場を弱化させて磁性を向上させることができる。

【0033】

溝20は、鋼板の幅方向に断続的に3~8個形成する。溝の深さ(D)を、鋼板の厚さの3%~8%で形成する。深さが過度に浅いと、鉄損改善効果が低く、深さが過度に深いと、熱影響部が増加してゴス集合組織(Goss Texture)の成長に悪影響を与えることがある。

【0034】

溝を形成する段階を行った後に、脱炭焼鈍または窒化焼鈍して鋼板の表面に酸化層を形成する段階と、酸化層が形成された鋼板の表面に焼鈍分離剤を塗布し、高温焼鈍して鋼板の表面に非金属酸化層を形成する段階とをさらに行うことができる。

【0035】

酸化層を形成する段階(すなわち、1次再結晶焼鈍)は、脱炭焼鈍以後に窒化焼鈍する

10

20

30

40

50

か、脱炭焼鈍および窒化焼鈍を同時に行うこともできる。1次再結晶焼鈍時の焼鈍温度は、700～950である。1次再結晶焼鈍時の脱炭のために酸化性雰囲気中に制御する。この時、鋼板に含まれたSiは、脱炭焼鈍雰囲気ガス中に存在する水分と反応して鋼板の表層部に酸化層を形成する。1次再結晶焼鈍における脱炭は、鋼板内部の炭素が表面に拡散して行い、一方で鋼板は、雰囲気ガスに含まれた酸素と反応して SiO_2 や Fe_2SiO_4 (Fayalite)のような酸化層を表面に形成する。この時、1次再結晶焼鈍の過程において、鋼板の表面に形成される酸化層における $\text{SiO}_2 / \text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の重量比は0.1～1.5である。

【0036】

このように1次再結晶焼鈍過程で形成される酸化層の重量比は、1次再結晶焼鈍、すなわち、脱炭焼鈍時の適正な酸素投入量と密接な関係がある。鋼板の成分のうち酸素含有量を通常の酸素含有量より多く含ませた状態で脱炭焼鈍時の酸素投入量を制御する。脱炭焼鈍時の酸素の投入量は、酸化性雰囲気(露点、水素雰囲気)と鋼板表層部の酸化層の形状、および鋼板の温度を考慮しなければならない。

【0037】

酸化能だけで判断すると、酸化能が高いほど酸素分圧が高まるので、酸化能を高めた方がよい。しかし、酸化能が過度に高くなると、表層部に SiO_2 や Fe_2SiO_4 (Fayalite)酸化物が鋼板の表層部に緻密に形成される。このように緻密な酸化物が形成されると酸素の深さ方向への浸透を妨害する妨害物の役割をし、結果的に酸素の鋼板内部への浸透を妨害する。したがって、脱炭のための適切な酸化能が存在するので、790～900の温度範囲で露点50～70(50% N_2 +50% H_2)雰囲気中で脱炭が都合よく起こり、適切な酸化層が形成される。脱炭焼鈍時の脱炭雰囲気を制御して脱炭焼鈍を完了すると、鋼板表面の酸素層の酸素量は、600～1,000ppm範囲にある。

【0038】

次に、酸化層が形成された鋼板の表面に焼鈍分離剤を塗布し、高温焼鈍(すなわち、2次再結晶焼鈍)して鋼板の表面に非金属酸化物層を形成する。焼鈍分離剤は、 MgO を主成分とするスラリー状で、ここに反応促進剤としてTi化合物、Cl化合物、硫化物、窒化物、窒化物または酸化物の一種または一種以上を混合して加える。焼鈍分離剤は、スラリー状であるので、鋼板にコーティングロールによって塗布ができ、その塗布量を、鋼板の片面当たり2.0～12.5g/m²とするのが好ましい。焼鈍分離剤は、2次再結晶焼鈍時、焼鈍分離剤の主成分である MgO が酸化層の SiO_2 または/および Fe_2SiO_4 と反応してフォルステライト(Forsterite; Mg_2SiO_4)ガラス被膜を形成する。このようなフォルステライト被膜は、2次再結晶焼鈍過程でインヒビター挙動に影響を与え、電磁鋼板の磁気特性に影響を与え、被膜が形成された後には素地鋼板との密着性などのような被膜特性にも影響を及ぼす。焼鈍分離剤の主成分である MgO の平均粉末粒径が2.5 μm 以下のものを使用することが好ましく、その中で平均粉末粒径が2 μm 以下が10%以上であることがさらに好ましい。

【0039】

一方、2次再結晶焼鈍は、550～750での1次亀裂過程と1,000～1,250での2次亀裂過程に分けて行い、昇温区間は、650～950の温度区間では時間当り30～100に昇温し、950～1,250の温度区間では時間当り50以下に昇温する。そして、亀裂時間は、1次亀裂過程は、焼鈍分離剤の水分を除去するために10分以上にし、2次亀裂時間は8時間以上にする。2次再結晶焼鈍時雰囲気は、2次亀裂温度までは窒素と水素の混合雰囲気で行い、2次亀裂温度に到達した後は水素雰囲気で行うことが好ましい。以上のように MgO を主成分とする焼鈍分離剤を塗布して2次再結晶焼鈍を行うと、焼鈍過程で焼鈍分離剤のうちMgが素地鋼板の内部に拡散し、脱炭焼鈍過程で生成されたSi酸化物とMgが相互拡散反応をしながらフォルステライトを形成する。2次再結晶焼鈍過程で鋼板の内部でゴス核を有する結晶から(110)<001>ゴス方位を有する結晶粒がまず成長して優れた電気的特性を持つ。非金属酸化物層は、例示した Mg_2SiO_4 の他に、 Al_2SiO_4 や Mn_2SiO_4 であってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

非金属酸化物層を形成する段階の後、さらに非金属酸化物層上に絶縁コート層を形成する段階を行うことができる。具体的な方法として、リン酸塩を含む絶縁コート液を塗布する方式で絶縁コート層を形成し得る。このような絶縁コート液は、コロイダルシリカと金属リン酸塩を含むコート液を使用することが好ましい。この時、金属リン酸塩は、Alリン酸塩、Mgリン酸塩、またはこれらの組み合わせが可能で、絶縁コート液の重量に対してAl、Mg、またはこれらの組み合わせの含有量は15重量%以上である。絶縁コート層を形成させた後に、応力緩和焼鈍をさらに行うことができる。

【 0 0 4 1 】

以下では実施例により本発明をさらに詳細に説明する。しかし、このような実施例は、単に本発明を例示するためであり、本発明はこれに限定されるものではない。

10

【実施例】

【 0 0 4 2 】

冷間圧延した厚さ0.27mmの方向性電磁鋼板を準備した。この電磁鋼板の表面に、TEM₀₀モードで、ビーム品質ファクターであるM²が1.0、出力を2.8kWに調節したレーザーを照射した。この時、レーザービームの形状、デューティ、周波数、P/W値を下記表1および表2のように変えながら照射した。次いで、脱炭焼鈍および窒化処理を行い、MgOを主成分とする焼鈍分離剤を鋼板片面当たり8g/m²になるように塗布した後鋼板の2次再結晶焼鈍を行った。その後、コロイダルシリカと金属リン酸塩を含む絶縁コート液をコートして絶縁コート層を形成した。

20

【 0 0 4 3 】

【表1】

区分	デューティ	周波数	P/W	溝深さ	レーザー照射前	レーザー照射後	改善率	密着性
	%				Hz	W/μm		
実施例 (準連続発進 /Oval)	98.0	5000	33	8.1	0.90/1.91	0.83/1.90	7.8	10
					0.89/1.91	0.83/1.90	6.7	10
				21.6	0.89/1.91	0.79/1.89	11.2	15
					0.88/1.91	0.79/1.89	10.2	15
	99.9		33	15.2	0.88/1.91	0.82/1.90	6.8	15
					0.89/1.91	0.81/1.89	9.0	15
			250	15.1	0.88/1.91	0.83/1.90	5.7	15
					0.89/1.91	0.83/1.90	6.7	15

30

40

【 0 0 4 4 】

【表 2】

区分	デューティ	周波数	P/W	溝深さ	レーザー照射前	レーザー照射後	改善率	密着性
	%				Hz	W/ μm		
実施例 (準連続/Oval)	99.9	5000	50	16.1	0.88/1.91	0.82/1.90	6.8	10
					0.89/1.91	0.82/1.90	7.9	10
比較例 (準連続/Oval)	99.9	5000	10	5.0	0.88/1.91	1.02/1.84	-15.9	35
	99.9	5000	350	8.0	0.89/1.91	1.12/1.86	-25.8	30
比較例 (準連続/oval)	95.0	5000	50	16.1 (部分形成)	0.88/1.91	0.87/1.91	1.1	20
比較例 (連続/oval)	100	-	50	16.1	0.88/1.91	0.83/1.88	5.7	25
					0.89/1.91	0.82/1.89	7.9	20
比較例 (Pulse Laser/不連続溝)	-	5000	50	16.2	0.88/1.91	0.95/1.84	-8.0	30
					0.89/1.91	0.94/1.85	-5.6	30

10

20

30

【0045】

表1および表2において、鉄損改善率は、レーザーを照射して溝を形成する前の電磁鋼板の鉄損 (W_1) とレーザーを照射して溝を形成した後の鉄損 (W_2) を測定して $(W_1 - W_2) / W_1$ で計算した。密着性は、円形型 Bar (直径 5 ~ 80 mm) に鋼板を密着させて Bending させたとき、絶縁コーティングおよび非金属酸化物層の剥離あるいは脱着が起きるかを Bar 直径で表示した。

【0046】

表1および表2に示すように、準連続レーザーを用いると、鉄損改善率および密着性が同時に向上することを確認することができる。反面、準連続レーザーを用いてもデューティが低く、連続レーザーを用いると、密着性が劣ることがわかる。また、パルスレーザーを用いると、鉄損改善率および密着性が同時に劣ることが確認できる。準連続レーザーを用いて P/W 値を適切に調節したとき、鉄損改善率および密着性がさらに向上することを確認することができる。デューティが 95% で低い場合、溝が生じる部位と生じない部位が板の長さ方向のスキャンした線上に現れるので、線が形成された部位には溝が現れるが、線が形成されていない部位では溝が形成されない。したがって、鉄損値は統計的に約 1.3% 程度改善される。

40

【0047】

本発明は実施例に限定されるものではなく、互いに異なる多様な形態で製造でき、本発

50

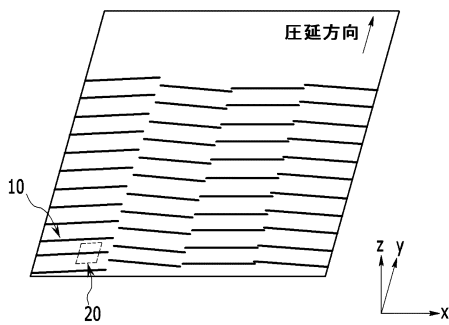
明が属する技術分野における通常の知識を有する者は、本発明の技術的思想や必須の特徴を変更せず、他の具体的な形態で実施できることを理解することができる。したがって、上記実施例はすべての面で例示的なものであり、限定的なものではないと理解しなければならない。

【符号の説明】

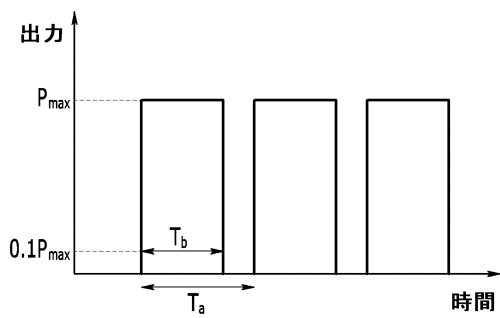
【0048】

- 10 電磁鋼板
- 20 溝

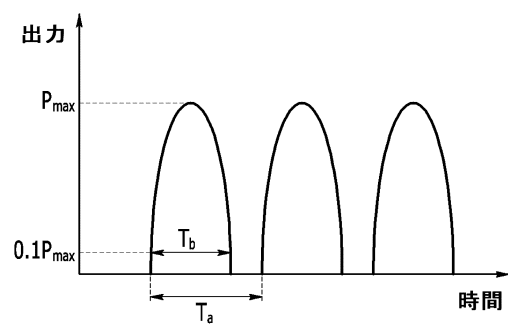
【図1】



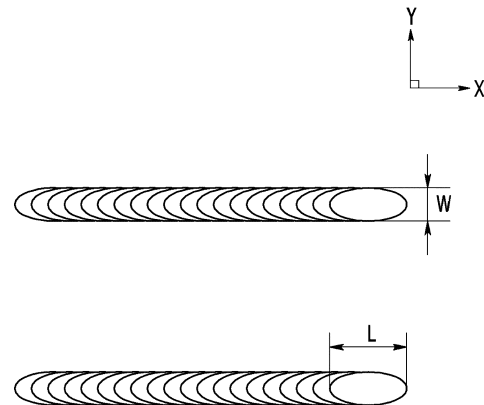
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 C 2 2 C 38/00 (2006.01) C 2 2 C 38/00 3 0 3 U
 C 2 2 C 38/60 (2006.01) C 2 2 C 38/60

(72)発明者 ミン, キ ヨン
 大韓民国 3 7 8 5 9 ギョンサンブク - ド ポハン - シ, ナム - グ, ドンヘアン - ロ, (ゴドン
 - ドン) 6 2 6 1, ポスコ内

(72)発明者 パク, セ ミン
 大韓民国 3 7 8 5 9 ギョンサンブク - ド ポハン - シ, ナム - グ, ドンヘアン - ロ, (ゴドン
 - ドン) 6 2 6 1, ポスコ内

(72)発明者 パク, ソン テ
 大韓民国 3 7 8 5 9 ギョンサンブク - ド ポハン - シ, ナム - グ, ドンヘアン - ロ, (ゴドン
 - ドン) 6 2 6 1, ポスコ内

(72)発明者 ホン, ソン チョル
 大韓民国 3 7 8 5 9 ギョンサンブク - ド ポハン - シ, ナム - グ, ドンヘアン - ロ, (ゴドン
 - ドン) 6 2 6 1, ポスコ内

審査官 鈴木 葉子

(56)参考文献 特開2007-277644(JP,A)
 韓国公開特許第10-2016-0078242(KR,A)
 特開2013-036121(JP,A)
 国際公開第97/024466(WO,A1)
 韓国公開特許第10-2016-0019919(KR,A)
 韓国公開特許第10-2015-0073549(KR,A)
 国際公開第2004/083465(WO,A1)
 米国特許第04963199(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
 C 2 1 D 8 / 1 2 , 9 / 4 6
 C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
 H 0 1 F 1 / 1 2 - 1 / 3 8 , 1 / 4 4