

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6879439号
(P6879439)

(45) 発行日 令和3年6月2日(2021.6.2)

(24) 登録日 令和3年5月7日(2021.5.7)

(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 1 D 8/12	(2006.01)	C 2 1 D 8/12	D
H 0 1 F 1/147	(2006.01)	H 0 1 F 1/147	1 7 5
C 2 2 C 38/60	(2006.01)	C 2 2 C 38/60	

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2020-558056 (P2020-558056)	(73) 特許権者	000001258
(86) (22) 出願日	令和2年7月3日(2020.7.3)		J F E スチール株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2020/026181		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
審査請求日	令和2年10月21日(2020.10.21)	(74) 代理人	100184859
(31) 優先権主張番号	特願2019-140966 (P2019-140966)		弁理士 磯村 哲朗
(32) 優先日	令和1年7月31日(2019.7.31)	(74) 代理人	100123386
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 熊坂 晃
早期審査対象出願		(74) 代理人	100196667
			弁理士 坂井 哲也
		(74) 代理人	100130834
			弁理士 森 和弘
		(72) 発明者	市原 義悠
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 方向性電磁鋼板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

方向性電磁鋼板の圧延方向と交差する方向に、線状溝が、前記圧延方向に周期的に形成された方向性電磁鋼板であって、

前記線状溝の溝底部にはフォルステライト被膜が形成され、

前記線状溝は、前記線状溝の溝幅の中心線の位置が、前記線状溝の溝幅方向にずれた中心線の不連続部を有し、

前記線状溝の溝幅を a、前記中心線の不連続部における中心線間の溝幅方向の距離を b としたとき、

前記 a 及び b が下記式(1)の関係を満たし、

前記中心線の不連続部の線状溝長さ方向の長さが 0 mm 以上である、方向性電磁鋼板。

$$0.05 \leq b/a \leq 0.95 \quad \dots (1)$$

【請求項2】

前記中心線の不連続部の線状溝長さ方向の長さが、0 mm 以上 50 mm 以下である、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、方向性電磁鋼板に関し、特に変圧器などの鉄心材料として好適な方向性電磁鋼板に関するものである。

【背景技術】

【0002】

方向性電磁鋼板は、変圧器鉄心用材料として用いられている。変圧器のエネルギー損失には方向性電磁鋼板の鉄損が大きく影響している。近年では、省エネ・環境規制の観点から、変圧器におけるエネルギー損失の低減が強く求められている。変圧器の鉄損は、素材となる方向性電磁鋼板の鉄損によって影響されるため、鉄損の低い方向性電磁鋼板を開発することが非常に重要である。

【0003】

方向性電磁鋼板の鉄損は、ヒステリシス損と渦電流損とに分離される。ヒステリシス損を改善する手法としては、G O S S方位と呼ばれる(110)[001]方位を圧延方向に高度に配向させる手法や、鋼板中に含まれる不純物を低減する手法などが開発されている。一方、渦電流損を改善する手法としては、Si添加により電気抵抗を増加させる手法、圧延方向への被膜張力の付与などの手法が開発されている。しかしながら、更なる低鉄損化を追求する際には、これらの手法では製造上の限界がある。

10

【0004】

そこで、仕上げ焼鈍、絶縁被膜焼き付け後の鋼板に、溝の形成や局所的な歪みの導入など、物理的な手法で磁束の不均一性を導入する磁区細分化技術が開発されている。この技術は、圧延方向に沿って形成される180°磁区(主磁区)の幅を細分化して、鉄損、特に渦電流損を低減させる手法である。

【0005】

この磁区細分化技術において、製品板に歪み取り焼鈍を実施してもその効果が失われない手法を、特に、耐熱型の磁区細分化法と呼んでいる。この手法は一般に、製造工程上、歪み取り焼鈍が必須である巻鉄心用材料に適用される。例えば特許文献1には、幅300μm以下かつ深さ100μm以下の線状溝を鋼板表面に導入することで、元々 $W_{17/50}$ で0.80W/kg以上あった鉄損を、前記線状溝の形成後に0.70W/kg以下まで改善する技術が提案されている。

20

【0006】

方向性電磁鋼板に溝を形成する方法としては、例えば、電解エッチングによって鋼板表面に溝を形成する電解エッチング法(特許文献2)、高出力のレーザーによって鋼板を局所的に溶解・蒸発させるレーザー法(特許文献3)、歯車状のロールを鋼板に押し付けることで圧痕を与える歯車プレス法(特許文献4)が提案されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特公平6-22179号公報

【特許文献2】特開2012-77380号公報

【特許文献3】特開2003-129135号公報

【特許文献4】特開昭62-86121号公報

【特許文献5】国際公開第2016/171129号

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

一般に、溝による磁区細分化効果は、鋼板の溝側壁部の表面積が大きいほど高い効果が得られることが知られている。しかしながら、溝を板厚方向に深くまで形成すると、溝体積の増加によって、透磁率の低下などの鋼板の磁気特性劣化に加え、製造ライン通板中の破断などの製造上の不利益も増加する。したがって、従来の溝による磁区細分化材では溝形成パターンの適正化による鉄損改善効果向上を図っている。例えば、特許文献5にあるように、複数の線状溝群を鋼板表面に形成し、線状溝の形成方向に隣接する線状溝同士を、その両端を離す、または圧延方向と直交する投影面上で重なるように配置する方法が提案されている。

50

【 0 0 0 9 】

しかしながら、上記方法では、隣接する線状溝同士を、圧延方向と直交する投影面上で重なるように配置した場合は大きな磁区細分化効果を得ることができる一方で、溝の総体積も増加するため、透磁率が低下する。また、線状溝同士の両端を離す場合、透磁率の劣化に伴う磁気特性の劣化は抑制できるが、磁区細分化効果が不十分となるという問題を抱えている。

【 0 0 1 0 】

したがって、更なる高特性な耐熱型磁区細分化材の開発のためには、高い磁区細分化効果と、高い磁束密度を両立する溝形成パターンが必要である。

【 0 0 1 1 】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、線状溝が形成された方向性電磁鋼板であって、優れた鉄損低減効果と、高い磁束密度を両立できる方向性電磁鋼板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】

【 0 0 1 2 】

本発明者らは、上記問題を解決すべく鋭意検討を重ねた。まず、鋼板表面に形成する溝の形状について検討を行った。前述の通り、鋼板に溝を形成した時、透磁率が劣化する。この透磁率の劣化の大きさは、溝の体積に相関するものであるため、形成する溝の体積は極力小さい方が好ましい。したがって、鋼板に形成する溝の形状は、板幅方向に連続的に形成させたもの、すなわち板幅方向に途切れなく溝を形成させたものが最も好ましいと考えられる。一方、このように形成させた溝による鉄損低減効果は、板幅方向に連続的に形成されていない小規模の溝群を、隣り合う溝の端部同士を圧延方向と直交する投影面上で重なるように形成したものに比べて小さい。これは、磁区細分化効果は、磁化の不連続部分、すなわち溝の表面積が大きいほど高い効果が得られるためである。

【 0 0 1 3 】

そこで、本発明者らは、一直線上に（連続的に）形成させた溝においても、溝の形状を工夫して更に鉄損を改善する方法について鋭意検討を行った。ここで、溝を形成した方向性電磁鋼板は、溝を形成した後に焼鈍分離剤を塗布して最終焼鈍を行っている。この最終焼鈍は、鋼板の二次再結晶と、フォルステライト被膜の形成を目的としており、この時、溝底部にもフォルステライト被膜が形成される。そして、このフォルステライト被膜が緻密に形成されると、被膜張力の増加によって、鉄損が改善することが知られている。つまり、溝底部に緻密なフォルステライト被膜を形成することで、更なる鉄損改善の可能性が考えられた。

【 0 0 1 4 】

そこで、溝底部に緻密なフォルステライト被膜を形成する方法について更に検討を行ったところ、鋼板圧延方向に周期的に線状溝を形成するにあたって、図1(a)に示すような圧延方向と交差する方向に形成された線状溝において、図1(b)に示すような、線状溝1の溝幅aの中心線Pの位置が、線状溝1の溝幅方向にずれた領域（中心線の不連続部2）を、鋼板の圧延方向と交差する方向に形成された一つの線状溝1につき少なくとも1箇所は存在するようなパターンの溝を形成させ、かつ、前記線状溝1の溝幅をa、前記中心線の不連続部2における中心線間の溝幅方向の距離をbとしたとき、前記a及びbが下記式(1)の関係を満たすとき、鉄損が顕著に改善することを見出した。

$$0.05 \leq b/a \leq 0.95 \quad \dots (1)$$

なお、前記中心線の不連続部2は、より詳細には、中心線P（線状溝1の溝幅aの中心を通り、線状溝1の長さ方向（線状溝1の形成方向）に平行な線）が、平行ではあるが、同一直線上にはない領域（中心線が並行して存在する領域）である。

【 0 0 1 5 】

さらに、本発明者らは詳細な検討を行ったところ、上記式(1)を満たす条件においても、前記中心線の不連続部2の線状溝長さ方向の長さc（すなわち、中心線Pが同一直線

10

20

30

40

50

上にない領域の線状溝長さ方向の長さ、以下、ラップ長ともいう)が、50 mmを超えたとき、鉄損改善効果が減少に転ずることを見出した。

【0016】

本発明は、上記知見に基づきなされたものである。すなわち、本発明の要旨構成は下記のとおりである。

【0017】

[1] 方向性電磁鋼板の圧延方向と交差する方向に、線状溝が、前記圧延方向に周期的に形成された方向性電磁鋼板であって、

前記線状溝は、前記線状溝の溝幅の中心線の位置が、前記線状溝の溝幅方向にずれた中心線の不連続部を有し、

前記線状溝の溝幅を a 、前記中心線の不連続部における中心線間の溝幅方向の距離を b としたとき、

前記 a 及び b が下記式(1)の関係を満たす、方向性電磁鋼板。

$$0.05 \leq b/a \leq 0.95 \quad \dots (1)$$

[2] 前記中心線の不連続部の線状溝長さ方向の長さが、0 mm以上50 mm以下である、[1]に記載の方向性電磁鋼板。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、線状溝が形成された方向性電磁鋼板であって、優れた鉄損低減効果と、高い磁束密度を両立でき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、線状溝を形成した耐熱型磁区細分化方向性電磁鋼板において、従来よりも磁束密度の劣化を抑制しつつ、高い鉄損低減効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】図1(a)は圧延方向と交差する方向に形成された線状溝の形状を説明する図であり、図1(b)は中心線の不連続部を有する線状溝の形状を説明する図である。

【図2】図2は、中心線の不連続部における b/a と、鉄損との関係を示すグラフである。

【図3】図3は、中心線の不連続部におけるラップ長 c と、鉄損との関係を示すグラフである。

【図4】図4は、実施例で形成したレジストパターンの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

まず、本発明を完成させるに至った実験結果について説明する。

【0021】

方向性電磁鋼板(冷延鋼板鋼帯)に、当該方向性電磁鋼板の圧延方向と交差する方向に延びる線状溝であって、中心線の不連続部を有する線状溝を形成した。この際、中心線間の溝幅方向の距離 b を、溝幅 a に対して様々に変化させて(図1(b)参照)、溝を形成した試料に、脱炭焼鈍を施した後、焼鈍分離剤を塗布してコイル状に巻き取り、最終焼鈍を行った。次いで平坦化焼鈍を施し、張力被膜を鋼板表面に形成して最終製品板としたものを作製し、その磁気特性を調査した。この時、溝幅 a 、中心線の不連続部の線状溝長さ方向の長さ(ラップ長 c)、及び溝の深さ(溝の板厚方向の形成深さ)は一定とした。磁気特性の評価は、鉄損 $W_{1.7/50}$ と磁束密度 B_8 を用いた。 $W_{1.7/50}$ とは、鋼板の圧延方向に1.7 T、50 Hzの交番磁化を与えたときの鉄損値を意味し、また、 B_8 とは、磁化力800 A/mで圧延方向に磁化した時の磁束密度を意味する。

【0022】

結果を図2に示す。鉄損($W_{1.7/50}$)は、 b/a が0.05以上の時、大きな鉄損改善効果が確認できる。これは、試料をコイル状に巻き取った後、最終焼鈍を施す際に、板幅方向に連続して形成した線状溝中に流れる最終焼鈍の雰囲気ガスが、中心線の不連続部に滞留した結果、フォルステライト被膜の形成反応が促進され、緻密な組織となったた

10

20

30

40

50

めと考えている。また、 b/a が1以上、すなわち溝が連続的な直線状でなくなった時、鉄損改善効果が大きく劣化した。これは、溝が途切れ、板幅方向に連続した直線状ではなくなったために、雰囲気ガスの流通が遮断され、上記効果が得られなかったためと考えられる。

【0023】

一方、磁束密度(B_g)は、 b/a が0.95を超えると劣化する傾向が確認された。これは、中心線間の溝幅方向の距離 b の増加によって、溝の体積が増加したことで、鋼板の透磁率が低下したためと考えている。以上の結果から、 b/a の適正範囲は0.05以上0.95以下とした。 b/a は、より好ましくは0.10以上である。また、 b/a は、より好ましくは0.90以下である。

10

【0024】

続いて、溝幅 a 、中心線間の溝幅方向の距離 b 、溝深さを一定として、ラップ長 c を様々に変化させて溝を形成した試料に上記と同様のプロセスにて最終製品板としたものを作製し、磁気特性の調査を行った。結果を図3に示す。ラップ長 c が50mm以下の時に、大きな鉄損改善効果が確認できている。これは、先述と同様に、中心線の不連続部における、雰囲気ガスの滞留によって緻密なフォスフェイト被膜が形成されたためと考えている。一方、ラップ長 c を50mmよりも長くした場合には、鉄損改善量の劣化が見られた。これは、ラップ長が長くなったことで、溝中を流れる雰囲気ガスの流通性が向上し、緻密なフォスフェイト被膜が形成されにくくなったためと考えている。

【0025】

更に、ラップ長 c が50mmよりも長い場合には、 B_g の劣化も確認された。これは、ラップ長 c が長くなったことで、溝の体積が増加したことによるものと思われる。また、線状溝であることから、中心線の不連続部のラップ長 c は0mm以上であることが必要である。以上のことから、ラップ長 c の好適範囲を0mm以上50mm以下とした。より好ましくは、ラップ長 c は0.1mm以上である。また、より好ましくは、ラップ長 c は40mm以下である。

20

【0026】

以下に、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。ただし、本発明は本実施形態に開示の構成のみに限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

30

【0027】

[方向性電磁鋼板]

本発明の方向性電磁鋼板用の鋼素材(スラブ)の基本成分、インヒビター成分および任意添加成分について具体的に述べる。

【0028】

(基本成分)

C: 0.08質量%以下

Cは、熱延板組織の改善のために添加するが、Cの含有量が0.08質量%を超えると磁気時効の起こらない50質量ppm以下まで製造工程中に脱炭することが困難となるため、C含有量は0.08質量%以下とすることが望ましい。また、Cを含まない鋼素材でも二次再結晶することから、C含有量の下限については特に設けない。

40

【0029】

Si: 2.0~8.0質量%

Siは、鋼の電気抵抗を増大させ、鉄損を改善するのに有効な元素である。しかしながら、Siの含有量が2.0質量%未満ではその改善効果が十分に発揮されず、一方8.0質量%を超えると加工性、通板性が著しく劣化することに加え、磁束密度も低下する。そのため、Si含有量は2.0~8.0質量%の範囲とすることが望ましい。

【0030】

Mn: 0.005~1.0質量%

Mnは、熱間加工性を向上させるうえで必要な元素である。しかしながら、Mnの含有

50

量が0.005質量%未満ではその効果を十分に得ることが出来ず、一方1.0質量%を超えると磁束密度が劣化する。そのため、Mn含有量は0.005～1.0質量%の範囲とすることが好ましい。

【0031】

(インヒビター成分)

本発明において、方向性電磁鋼板のスラブの成分組成は、二次再結晶が生じる成分組成であればよい。二次再結晶を生じさせるために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MnS・MnSe系インヒビターを利用する場合であれば、MnとSe及び/またはSを適量含有させればよい。もちろん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及びSeの好適含有量はそれぞれ、

Al：0.010～0.065質量%

N：0.0050～0.0120質量%

S：0.005～0.030質量%

Se：0.005～0.030質量%

である。

【0032】

さらに、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、Al、N、S、Seの含有量はそれぞれ、

Al：0.010質量%以下

N：0.0050質量%以下

S：0.0050質量%以下

Se：0.0050質量%以下

に抑制することが好ましい。

【0033】

上記の基本成分やインヒビター成分以外に、磁気特性改善に有効であることが知られている、下記任意添加成分を適量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%、

Cr：0.03～1.50質量%のうちから選ばれる1種以上

【0034】

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効な元素である。しかしながら、Niの含有量が0.03質量%未満では磁気特性への貢献は小さく、一方1.50質量%を超えると二次再結晶が不安定となり磁気特性が劣化する。そのためNi含有量は0.03～1.50質量%の範囲とすることが望ましい。

【0035】

また、Sn、Sb、Cu、P、Mo、Crも、磁気特性を向上させる元素であるが、いずれも、含有量が、上記の下限未満ではその効果は十分ではなく、また上限を超えると二次再結晶粒の成長が抑制されるために磁気特性が劣化する。そのためそれぞれ上記の含有量の範囲とすることが好ましい。

【0036】

また上記成分以外はFe及び不可避的不純物からなる。なお、製品板においては、C以外の基本成分および任意添加成分は鋼素材(スラブ)において含有させた量がそのまま製品板にも含有される。一方、Cは脱炭焼鈍により低減され、インヒビター成分は後述の最終焼鈍にて純化され、製品板では不可避的不純物程度の含有量に低減される。

10

20

30

40

50

【0037】

上記の成分系からなる方向性電磁鋼板の鋼素材（スラブ）に、熱間圧延を施した後、熱延板焼鈍を行う。次いで1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延を施して、最終板厚の鋼帯に仕上げる。その後、前記鋼帯に、脱炭焼鈍を施し、MgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布した後、コイル状に巻き取って、二次再結晶及びフォルステライト被膜の形成を目的とした最終焼鈍を施す。最終焼鈍後の鋼帯に対し、平坦化焼鈍を施した後、例えばリン酸マグネシウム系の張力被膜を形成させて製品板の鋼帯とする。

【0038】

本発明においては、冷間圧延後、焼鈍分離剤塗布前の任意の工程において、方向性電磁鋼板（鋼帯）の表面に線状溝を形成させる。

10

【0039】

〔溝形成方法〕

本発明における溝の形成方法には、グラビア印刷法やインクジェット印刷法によって、中心線の不連続部が形成されるようにレジストパターンを印刷し、非印刷部を電解エッチング法により溝形成する方法、鋼板全面にレジストインクを塗布しレジストを形成した後、レーザー照射によって中心線の不連続部が形成されるようにパターンング（レジスト除去）を行った後、レジストが除去された露出部を電解エッチング法により溝形成する方法等が挙げられるが、特に限定するものではない。

【0040】

〔溝寸法〕

下記に、本発明において好適な溝寸法を示す。ここで溝寸法とは、溝幅、溝深さに加え、方向性電磁鋼板（鋼帯）の圧延方向に周期的に形成する溝同士の間隔及び、線状溝の延伸方向と板幅方向の成す角を意味する。

20

【0041】

溝幅：10～300 μ m

溝幅が広いほど、同程度の溝深さとしたときの透磁率の劣化が大きいため、狭いほど好適である。したがって、溝幅は300 μ m以下とするのが好ましい。しかし、溝幅が過剰に狭くなった時、溝両端における磁極カップリングにより、鉄損改善効果が低下してしまうため、溝幅の下限を10 μ mとするのが好適である。

【0042】

溝深さ：板厚に対して4～25%

溝形成による鉄損改善効果は、溝側壁部の表面積、すなわち溝の形成深さが大きい（深い）ほど高い効果が得られる。したがって、板厚に対して4%以上の深さの溝を形成させることが好適である。一方、溝の深さを増していくと、当然溝の体積も増加し、透磁率が劣化する傾向となる。さらに、通板時に溝部を起点に破断のリスクがある。以上を踏まえ、溝深さの上限を板厚に対して25%とするのが好適である。

30

【0043】

線状溝の圧延方向の形成間隔：1.5～10mm

先述の通り、鉄損改善効果は溝側壁部の表面積が大きいほど向上するため、圧延方向における溝の形成間隔は狭いほど良好な結果を得られる。しかしながら、溝の形成間隔が狭まるにつれ、鋼板に対する溝の体積分率も増加し透磁率の劣化に加えて、作業時の破断のリスクも高まる。したがって、圧延方向における溝の形成間隔を1.5mm～10mmとするのが好適である。

40

【0044】

線状溝と板幅方向の成す角： $\pm 30^\circ$ 以内

溝の延伸方向が板幅方向から傾くほど、溝の体積が増加するため、透磁率が劣化する傾向となる。したがって、線状溝と板幅方向の成す角は $\pm 30^\circ$ 以内とすることが好ましい。

【0045】

〔溝形状測定方法〕

50

本発明の中心線の不連続部における溝幅 a 、中心線間の溝幅方向の距離 b 、ラップ長 c は、張力被膜形成後の方向性電磁鋼板の表面を、光学顕微鏡で観察し、該当箇所の長さを計測して求める。溝深さの測定は、レーザー顕微鏡を用いて前記鋼板の表面を観察し、延伸方向に沿って溝部の深度プロファイルを取得する。得られた各点の深度プロファイルにおける、最深部の平均値を溝深さとする。

【0046】

その他、本発明において、上述した工程や製造条件以外については、溝を形成して磁区細分化処理を施す公知の方向性電磁鋼板の製造方法を適宜使用することができる。

【実施例】

【0047】

次に実施例に基づいて本発明を具体的に説明する。以下の実施例は、本発明の好適な一例を示すものであり、本実施例によって何ら限定を受けるものではない。本発明の趣旨に適合しうる範囲で変更を加えて実施することも可能であり、そのような様態でも本発明の技術範囲に含まれる。

【0048】

表1に示す成分組成を含有し残部がFe及び不可避免的不純物からなる方向性電磁鋼板の鋼素材(スラブ)に熱間圧延を施し、熱延板焼鈍を行った。この後、中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延を施して板厚0.23mmの冷延鋼帯とした。これにインクジェット方式でレジストパターンを印刷した後、電解エッチング法により溝を形成した。この時、図4に示すように、レジスト部と非レジスト部で形成されるレジストパターンを、溝幅200 μ m、溝の圧延方向の形成間隔を4mm、溝の延伸方向と板幅方向の成す角を10 $^{\circ}$ となるように設定し、さらに、中心線の不連続部における中心線間の溝幅方向の距離 b およびラップ長 c を種々に変化させた。また、電解エッチング条件は、溝深さが20 μ mとなる条件に設定した。電解エッチングにより溝を形成した後の鋼帯は、アルカリ液中で表面のレジストを除去した後、脱炭焼鈍を行い、MgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、コイル状に巻き取ったのち、最終焼鈍を施した。最終焼鈍後の鋼帯に対し、平坦化焼鈍を施した後、リン酸マグネシウム系の張力被膜を形成させ、最終製品鋼帯とした。

【0049】

こうして作製した鋼帯を、線状溝1つにつき1か所の中心線の不連続部を含むようにRD:280mm \times TD:100mmに切り出し、SST(単板磁気試験)方式で $W_{17/50}$ 、 B_8 を測定した。ここで、RDは鋼板の圧延方向を、TDは板幅方向を意味する。磁気測定後の試料表面を光学顕微鏡で観察し、溝幅 a 、中心線の不連続部における中心線間の溝幅方向の距離 b およびラップ長 c を測定した。次いで、磁気特性、溝形状を測定した試料について、中心線の不連続部の断面を切り出してカーボンモールドに埋め込み研磨した後、当該研磨後の断面をSEMで観察し、溝底部におけるフォスフェイト被膜の膜厚を測定した。

【0050】

また、比較として、板幅方向に連続的に形成されていない小規模な溝群を形成し、板幅方向に隣接する溝同士が圧延方向と直交する投影面上で重なるように形成した溝パターン(後掲の表1のNo.43、44)、及び板幅方向に隣接する溝の端部同士が離れている溝パターン(後掲の表1のNo.45、46)の試料も同様に作製し、溝形状、磁気特性の評価を行った。また、溝幅中央部の断面を、上記と同様にSEMで観察し、溝底部におけるフォスフェイト被膜の膜厚を測定した。

【0051】

結果を表2にまとめて示す。 b/a が本発明の範囲にある時、溝底部に厚いフォスフェイト被膜が形成され、高い鉄損改善効果を示しつつ、磁束密度の劣化が抑制されていることが分かる。加えて、 c が0mm以上50mm以下の時、溝底部に更に厚いフォスフェイト被膜が形成され、より高い鉄損改善効果が確認できる。

【0052】

10

20

30

40

【表 1】

成分組成(質量%)							
C	Si	Mn	Al	N	Se	S	O
0.08	3.4	0.1	0.0260	0.007	0.0110	0.003	0.0025

【 0 0 5 3 】

【表 2】

No.	b/a	c [mm]	フォスフェイト被膜の 膜厚[μ m]	鉄損 $W_{17/50}$ [W/kg]	B_8 [T]	備考
1	<u>0</u>	0	2	0.710	1.930	比較例
2	0.05	0	4	0.690	1.930	発明例
3	0.1	0	4	0.685	1.930	発明例
4	0.5	0	4	0.685	1.930	発明例
5	0.9	0	4	0.685	1.930	発明例
6	0.95	0	4	0.690	1.930	発明例
7	<u>1.0</u>	0	2	0.690	1.920	比較例
8	<u>0</u>	0.1	2	0.700	1.930	比較例
9	0.05	0.1	4	0.685	1.930	発明例
10	0.1	0.1	4	0.680	1.930	発明例
11	0.5	0.1	4	0.680	1.930	発明例
12	0.9	0.1	4	0.680	1.930	発明例
13	0.95	0.1	4	0.685	1.930	発明例
14	<u>1.0</u>	0.1	2	0.685	1.920	比較例
15	<u>0</u>	10	2	0.700	1.930	比較例
16	0.05	10	4	0.685	1.930	発明例
17	0.1	10	4	0.680	1.930	発明例
18	0.5	10	4	0.680	1.930	発明例
19	0.9	10	4	0.680	1.930	発明例
20	0.95	10	4	0.685	1.930	発明例
21	<u>1.0</u>	10	2	0.685	1.920	比較例
22	<u>0</u>	40	2	0.700	1.930	比較例
23	0.05	40	4	0.685	1.930	発明例
24	0.1	40	4	0.680	1.930	発明例
25	0.5	40	4	0.680	1.930	発明例
26	0.9	40	4	0.680	1.930	発明例
27	0.95	40	4	0.685	1.930	発明例
28	<u>1.0</u>	40	2	0.685	1.920	比較例
29	<u>0</u>	50	2	0.710	1.930	比較例
30	0.05	50	4	0.690	1.930	発明例
31	0.1	50	4	0.685	1.930	発明例
32	0.5	50	4	0.685	1.930	発明例
33	0.9	50	4	0.685	1.930	発明例
34	0.95	50	4	0.690	1.930	発明例
35	<u>1.0</u>	50	2	0.690	1.920	比較例
36	<u>0</u>	60	2	0.710	1.925	比較例
37	0.05	60	3	0.695	1.925	発明例
38	0.1	60	3	0.690	1.925	発明例
39	0.5	60	3	0.690	1.925	発明例
40	0.9	60	3	0.690	1.925	発明例
41	0.95	60	3	0.695	1.925	発明例
42	<u>1.0</u>	60	2	0.695	1.910	比較例
43	1.2 ^{*1}	10 ^{*2}	2	0.695	1.920	比較例
44	1.1 ^{*1}	10 ^{*2}	2	0.695	1.920	比較例
45	0.1 ^{*1}	-0.5 ^{*3}	2	0.730	1.930	比較例
46	0.1 ^{*1}	-1 ^{*4}	2	0.730	1.930	比較例

下線は、本発明の範囲外であることを示す。

*1 板幅方向に隣接する溝の溝幅方向における中心線間の距離/溝幅

*2 板幅方向に隣接する溝を圧延方向と直交する投影面に投影したとき、溝同士が重なる長さ

*3 板幅方向に隣接する溝の端同士が、溝の長さ方向に0.5mmの間隔を有していることを示す。

*4 板幅方向に隣接する溝の端同士が、溝の長さ方向に1mmの間隔を有していることを示す。

【符号の説明】

【0054】

1 線状溝

10

20

30

40

50

2 中心線の不連続部

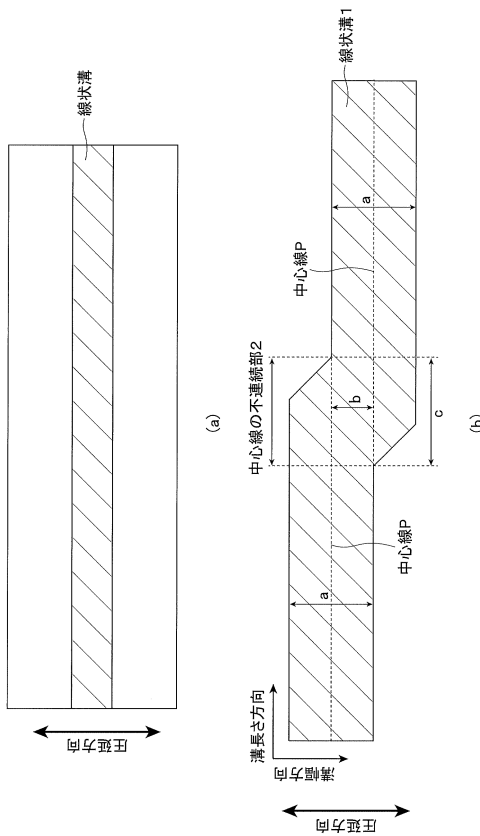
【要約】

線状溝が形成された方向性電磁鋼板であって、優れた鉄損低減効果と、高い磁束密度を両立できる方向性電磁鋼板を提供する。

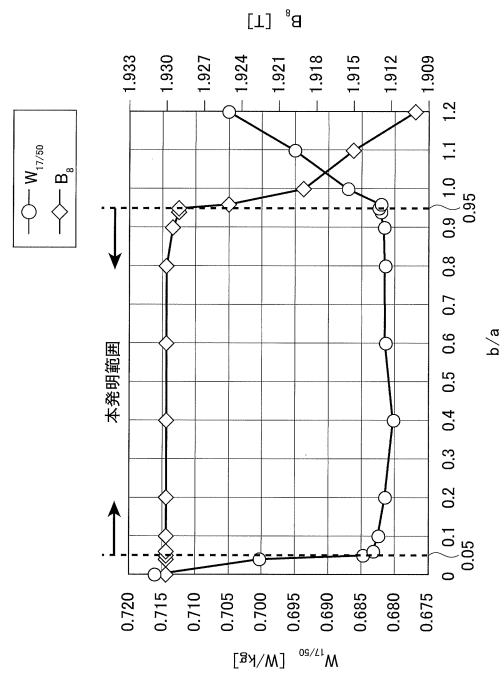
方向性電磁鋼板の圧延方向と交差する方向に、線状溝が、前記圧延方向に周期的に形成された方向性電磁鋼板であって、前記線状溝は、前記線状溝の溝幅の中心線の位置が、前記線状溝の溝幅方向にずれた中心線の不連続部を有し、前記線状溝の溝幅を a、前記中心線の不連続部における中心線間の溝幅方向の距離を b としたとき、前記 a 及び b が下記式 (1) の関係を満たす、方向性電磁鋼板。

0.05 ≤ b / a ≤ 0.95 … (1)

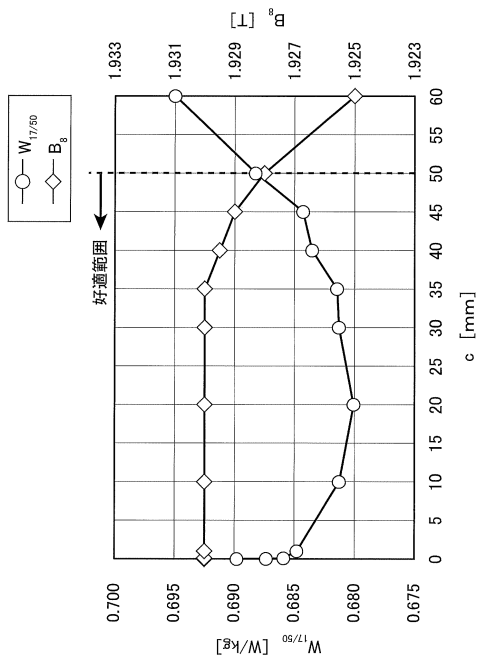
【図 1】



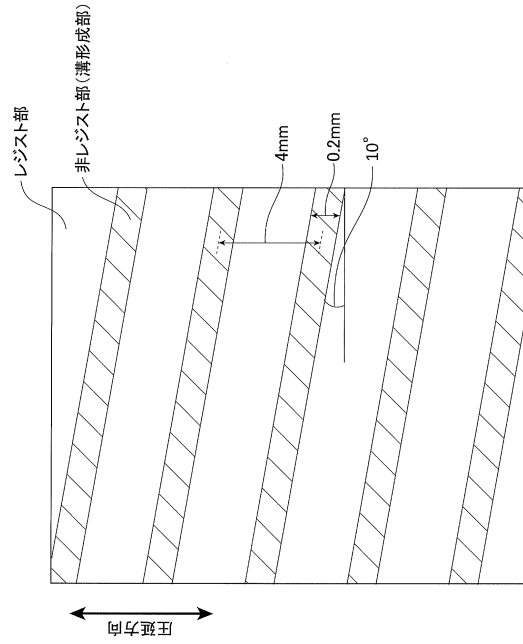
【図 2】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 大村 健
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
- (72)発明者 井上 博貴
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
- (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
- (72)発明者 大立 正憲
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
- (72)発明者 千田 邦浩
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

審査官 伊藤 真明

- (56)参考文献 国際公開第2017/017908(WO, A1)
国際公開第2015/111434(WO, A1)
国際公開第2018/117672(WO, A1)
特開2017-025377(JP, A)
特開2020-090709(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 1 D 8 / 1 2
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 0
H 0 1 F 1 / 1 4 7
C 2 5 F 3 / 0 0 - 3 / 3 0
C 2 3 F 1 / 0 0 - 1 / 4 6