

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-87332

(P2012-87332A)

(43) 公開日 平成24年5月10日(2012.5.10)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
C 2 1 D	8/12	(2006.01)	C 2 1 D	8/12		D	4 K 0 3 3	
H 0 1 F	1/16	(2006.01)	H 0 1 F	1/16		B	5 E 0 4 1	
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				

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2010-232943 (P2010-232943)
 (22) 出願日 平成22年10月15日(2010.10.15)

(71) 出願人 000006655
 新日本製鐵株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74) 代理人 100090273
 弁理士 園分 孝悦
 (72) 発明者 村上 健一
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日本製鐵株式会社内
 (72) 発明者 水村 崇人
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日本製鐵株式会社内
 (72) 発明者 濱村 秀行
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日本製鐵株式会社内

最終頁に続く

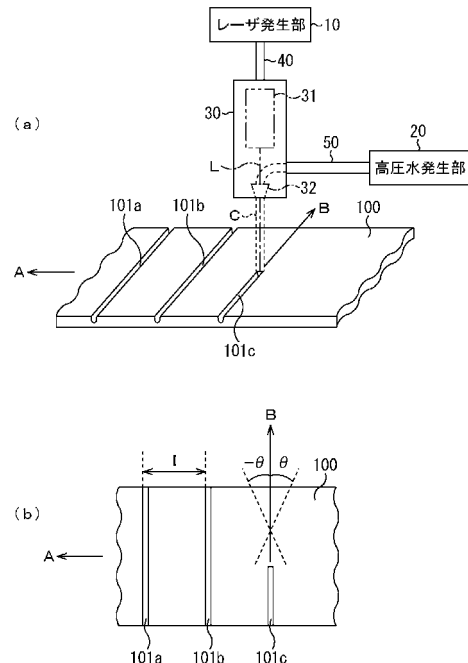
(54) 【発明の名称】 方向性電磁鋼板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザ光を照射することにより方向性電磁鋼板の表面に溝を形成して当該方向性電磁鋼板における磁区を制御するに際し、当該溝の縁の部分に形成される溶融物の高さを低減すると共に、当該方向性電磁鋼板に対する当該レーザ光の焦点位置の変動によって生じる当該溝の深さの変動を低減する。

【解決手段】 仕上焼鈍後の方向性電磁鋼板100、又は、仕上焼鈍後に表面に絶縁皮膜が形成された方向性電磁鋼板100の表面に、噴流水柱C内に閉じ込められた状態でレーザ光Lを照射して、幅Wが5[μm]以上200[μm]以下であり、深さDが方向性電磁鋼板100の板厚の4[%]以上15[%]以下であり、長手方向が方向性電磁鋼板100の圧延方向に対し±15[°]以内の方向にある複数の溝101を、方向性電磁鋼板100の圧延方向において2[mm]以上15[mm]以下の間隔Iで形成するようにした。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

仕上焼鈍後の方向性電磁鋼板、又は、仕上焼鈍後に表面に絶縁皮膜が形成された方向性電磁鋼板の表面に、噴流液柱内に閉じ込められた状態でレーザー光を照射して、幅が 5 [μ m] 以上 200 [μ m] 以下であり、深さが当該方向性電磁鋼板の板厚の 4 [%] 以上 15 [%] 以下であり、且つ、長手方向が当該方向性電磁鋼板の圧延方向に対し ± 15 [$^{\circ}$] 以内の方向である複数の溝を、当該方向性電磁鋼板の圧延方向において 2 [mm] 以上 15 [mm] 以下の間隔で形成する方向性電磁鋼板の製造方法であって、

前記レーザー光を照射することによって前記溝の縁の部分に形成される溶融物の少なくとも一部を、前記噴流液柱によって、前記方向性電磁鋼板の外部に流すようにしたことを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、方向性電磁鋼板の製造方法に関し、特に、方向性電磁鋼板の表面に溝を形成して当該方向性電磁鋼板における磁区を制御するために用いて好適なものである。

【背景技術】

【0002】

方向性電磁鋼板の鉄損を低減させる方法として、方向性電磁鋼板の表面にレーザー光を照射することにより、方向性電磁鋼板に歪みを導入して磁区を細分化する方法がある。しかしながら、例えば、巻き鉄心を製造する場合には、方向性電磁鋼板を曲げ加工して成形する（所謂レーシングを行う）ため、歪取り焼鈍が必要になる。したがって、このような方法では、歪取り焼鈍によって、方向性電磁鋼板に導入された歪みが解放されてしまう。よって、レーザー光による磁区の制御の効果が得られない。

20

【0003】

そこで、従来から、巻き鉄心用の方向性電磁鋼板の鉄損を低減する場合には、方向性電磁鋼板の表面に、耐熱性を有する溝であって、圧延方向に対して略直角な方向に延びる溝を形成することによって、当該方向性電磁鋼板における磁区を細分化することが行われている。

このような技術として、特許文献 1 には、電解又は化学エッチングにより地鉄内部に達する線状の溝を形成する技術が開示されている。

30

また、特許文献 2 には、歯車型ロールを用いて、方向性電磁鋼板の表面に溝を形成する技術が開示されている。

また、特許文献 3 には、高ピーク出力、高パルスエネルギーのレーザー光を照射して、方向性電磁鋼板の表面に溝を形成する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特公平 6 - 57857 号公報

【特許文献 2】特公昭 62 - 53579 号公報

40

【特許文献 3】特許第 2563729 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 に記載の技術では、エッチングを利用しているため、製造コストが高くなるという問題点がある。

また、特許文献 2 に記載の技術では、歯車型ロールを繰り返し何度も使用していると、当該歯車型ロールの刃が摩耗してしまう。そうすると、歯車型ロールの使用頻度によって、方向性電磁鋼板の表面に形成する溝の深さや幅にバラツキが生じるという問題点がある。

50

【0006】

また、特許文献3に記載の技術では、方向性電磁鋼板の溶融物が溝の縁の部分に付着することにより、当該溶融物の殆どが、当該溝の縁の部分において突起となる。よって、仕上げ焼鈍された方向性電磁鋼板の表面に絶縁皮膜を形成した後に、特許文献3に記載の技術を適用した場合には、溝の縁の部分に、導電性を有する高い突起が露出する。また、仕上げ焼鈍された方向性電磁鋼板の表面に特許文献3に記載の技術を適用した後に絶縁皮膜を形成する場合でも、当該突起の高さが当該絶縁皮膜の厚みよりも高いと、溝の縁の部分に、導電性を有する高い突起が露出する。このように、溝の縁の部分に導電性を有する高い突起が露出した方向性電磁鋼板を用いて巻き鉄心を製造すると、巻き鉄心における層間の電気絶縁性が劣化するという問題点がある。

10

また、一般に、レーザー光のビーム径は、その焦点から少しずれた位置でも広がってしまう。よって、特許文献3に記載の技術では、方向性電磁鋼板に対するレーザー光の焦点の位置を安定させないと（好ましくはレーザー光の焦点を方向性電磁鋼板の表面に一致させないと）、方向性電磁鋼板の表面に形成する溝の深さにバラツキが生じるという問題点があった。

【0007】

本発明は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、レーザー光を照射することにより方向性電磁鋼板の表面に溝を形成して当該方向性電磁鋼板における磁区を制御するに際し、当該溝の縁の部分に形成される溶融物の高さを低減すると共に、当該方向性電磁鋼板に対する当該レーザー光の焦点位置の変動によって生じる当該溝の深さの変動を低減することを抑制することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の方向性電磁鋼板の製造方法は、仕上げ焼鈍後の方向性電磁鋼板、又は、仕上げ焼鈍後に表面に絶縁皮膜が形成された方向性電磁鋼板の表面に、噴流液柱内に閉じ込められた状態でレーザー光を照射して、幅が5[μm]以上200[μm]以下であり、深さが当該方向性電磁鋼板の板厚の4[%]以上15[%]以下であり、且つ、長手方向が当該方向性電磁鋼板の圧延方向に対し ± 15 [$^{\circ}$]以内の方向である複数の溝を、当該方向性電磁鋼板の圧延方向において2[mm]以上15[mm]以下の間隔で形成する方向性電磁鋼板の製造方法であって、前記レーザー光を照射することによって前記溝の縁の部分に形成される溶融物の少なくとも一部を、前記噴流液柱によって、前記方向性電磁鋼板の外部に流すようにしたことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、噴流液柱内に閉じ込められた状態でレーザー光を方向性電磁鋼板の表面に照射することにより、当該レーザー光によって形成された溝の縁の部分に付着する溶融物の少なくとも一部を、当該噴流液柱によって、当該方向性電磁鋼板の外部に流すようにした。したがって、レーザー光を照射することにより方向性電磁鋼板の表面に溝を形成して当該方向性電磁鋼板における磁区を制御するに際し、当該溝の縁の部分に形成される溶融物の高さを低減すると共に、当該方向性電磁鋼板に対する当該レーザー光の焦点の位置の変動によって生じる当該溝の深さの変動を低減することができ、その結果として良好な磁気特性を安定的に得ることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施形態を示し、磁区制御装置の概略構成の一例を示す図である。

【図2】本発明の実施形態を示し、溝が形成された方向性電磁鋼板を、その圧延方向に沿って切ったときの断面の一例を示す図である。

【図3】本発明の実施例1を示し、溝の深さと、突起部の高さとの関係を表形式で示す図である。

【図4】本発明の実施例2を示し、焦点からの距離と、溝の深さとの関係を表形式で示す

50

図である。

【図5】本発明の実施例2を示し、比較例における焦点からの距離と、実施例における焦点からの距離を概念的に示す図である。

【図6】本発明の実施例3を示し、溝の幅と、突起部の高さとの関係を表形式で示す図である。

【図7】本発明の実施例4を示し、方向性電磁鋼板の板厚に対する溝の深さの割合と、溝の深さと、溝の間隔と鉄損と、突起部の高さとの関係を示す図である。

【図8】本発明の実施例5を示し、溝の間隔と、溝の深さと、鉄損との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0011】

以下、図面を参照しながら、本発明の一実施形態を説明する。

[磁区制御装置の構成]

図1は、磁区制御装置の概略構成の一例を示す図である。具体的に図1(a)は、磁区制御装置の概略構成の一例を示す斜視図であり、図1(b)は、方向性電磁鋼板をその上方(磁区制御装置側)から見た概略図である。

図1(a)において、磁区制御装置は、レーザ発生部10と、高圧水発生部20と、加工ヘッド30と、を有する。

本実施形態では、磁区制御装置は、例えば、以下のようにして製造される方向性電磁鋼板100の表面(表層部)に対して、長手方向がその圧延方向に略直角の方向の溝101 a~101 cを形成して方向性電磁鋼板100の磁区を細分化するようにする。

20

【0012】

まず、質量%で、Si:2.5[%]~4.0[%]、C:0.02[%]~0.10[%]、Mn:0.05[%]~0.20[%]、酸可溶性Al:0.020[%]~0.040[%]、N:0.002[%]~0.012[%]、S:0.001[%]~0.10[%]、P:0.001[%]~0.05[%]、残部がFe及び不可避免的不純物からなるスラブを加熱して熱間圧延する。次に、得られた熱延板を焼鈍し、必要に応じて中間焼鈍を挟む一回又は二回の冷間圧延を実施する。次に、得られた冷延板を最終板厚とし、当該冷延板に対して脱炭焼鈍(及び窒化焼鈍)を実施した後、二次再結晶焼鈍を行い、更に二次再結晶焼鈍を行う。このようにして方向性電磁鋼板100が製造される。この方向性電磁鋼板100は、後述するようにして磁区制御装置によりその表面に溝が形成された後、その表面上に絶縁皮膜が形成される。

30

【0013】

尚、方向性電磁鋼板100は、このようなものに限定されず、方向性電磁鋼板であれば、どのようなものでもよい。また、表面に絶縁皮膜が形成されたものを方向性電磁鋼板100として用いてもよい。

【0014】

以下に、磁区制御装置の構成を簡単に説明する。

レーザ発生部10は、レーザ光を発生させ、発生させたレーザ光を、光ファイバ40を介して加工ヘッド30に供給するためのものである。レーザ光としては、例えば、高圧水を用いる場合に水への吸収の少ない、Nd:YAGレーザの2倍波($\lambda = 532\text{nm}$)のパルスレーザを用いることができる。また、レーザ光の出力は、方向性電磁鋼板100の表面に形成する溝101 a~101 cの深さ等に応じて適宜決定することができ、例えば、100[W]以上200[W]以下の範囲で適宜決定することができる。

40

【0015】

高圧水発生部20は、給水タンクから水を吸い上げて増圧して高圧水を生成し、生成した高圧水を、高圧配管50を介して加工ヘッド30に供給するためのものである。

加工ヘッド30は、光学部品31とノズル32とを有し、レーザ発生部10から供給されたレーザ光の径を光学部品31により絞って照射用のレーザ光Lを生成すると共に、高圧水発生部20から供給された高圧水により噴流水柱Cを生成する。加工ヘッド30は、

50

噴流水柱 C 内にレーザ光 L を導き、噴流水柱 C 内に閉じ込められた状態でレーザ光 L を、ノズル 3 2 から、通板中の方向性電磁鋼板 1 0 0 に照射する。このように、本実施形態では、レーザ光 L を噴流水柱 C で導光するので、レーザ光 L は、水を透過し易いものが好ましい。

【 0 0 1 6 】

以上のように、本実施形態の磁区制御装置は、所謂ウォータージェットレーザを利用したものである。ウォータージェットレーザの構成自体は、公知の技術を利用して実現することができるので、ここでは、その詳細な説明を省略する。ただし、本実施形態では、噴流水柱 C は、レーザ光 L のガイド（案内）と、後述するようにして方向性電磁鋼板 1 0 0 の溝 2 0 1 の縁の部分に溶融物が堆積しないよう、系外への排出とを目的とし、地鉄や絶縁皮膜の除去には利用されないもので、その吐出圧は所定の径の水流を材料（方向性電磁鋼板 1 0 0）まで安定して到達させることができる程度であればよい。また、水柱に照射されるレーザ光の径（直径）は、噴流水柱 C の径（直径）よりも若干小さくなるようにする。よって、高圧水発生部 2 0 から加工ヘッド 3 0 に供給する高圧水の圧力及び流量は、このような条件を満足する範囲で適宜決定される。

10

【 0 0 1 7 】

[レーザ光 L のスキャン方向（溝 1 0 1 の方向）]

図 1 に示すように、レーザ光 L（加工ヘッド 3 0）をスキャン（走査）する方向は、圧延方向（図 1 の矢印 A の通板方向）に対して直角の方向（図 1 の矢印 B の幅方向）であるのが好ましい。ただし、レーザ光 L をスキャンする方向は、圧延方向（図 1 の矢印 A の通板方向）に対して直角の方向に限定されず、圧延方向に対して直角の方向に対し ± 15 [$^{\circ}$] 以内の方向であってもよい（すなわち、図 1（b）の [$^{\circ}$] が 0 [$^{\circ}$] ± 15 [$^{\circ}$] であってもよい）。このようにすることによって、方向性電磁鋼板 1 0 0 に形成される溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c の長手方向を、圧延方向に対して直角の方向に対し ± 15 [$^{\circ}$] 以内の方向（圧延方向に対して略直角の方向）にすることができる。このような範囲の方向に溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c を形成した理由は、このような範囲の方向に溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c を形成すれば、溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c を形成したことによる磁区制御の効果（すなわち、鉄損の改善代）が大きくなるからである。一方、これ以外の方向に溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c を形成した場合でも鉄損の改善効果はあるが、その程度は小さくなる。

20

30

【 0 0 1 8 】

[レーザ光 L のスキャン速度]

また、レーザ光 L のスキャン速度は、方向性電磁鋼板 1 0 0 の表面に形成する溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c の深さに応じて適宜決定することができ、例えば、2 0 [mm / s e c] 以上 1 0 0 0 [mm / s e c] 以下の範囲で適宜決定することができる。

[レーザ光 L のスポット径]

また、レーザ光 L のスポットの径は、方向性電磁鋼板 1 0 0 の表面に形成する溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c の幅に応じて適宜決定することができ、当該形成しようとする溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c の幅と同じか、又は、当該形成しようとする溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c の幅よりも若干大きな径若しくは小さな径にすることができる。尚、レーザ光 L のスポットの径は、ノズル 3 2 の径を変更することにより変えることができる。

40

【 0 0 1 9 】

[溝 1 0 1 の構成]

以上のようにして方向性電磁鋼板 1 0 0 に対してレーザ光 L をスキャンすることにより、方向性電磁鋼板 1 0 0 の表面に、長手方向が圧延方向に対して略直角の方向の溝 1 0 1 a ~ 1 0 1 c が形成される。

【 0 0 2 0 】

図 2 は、溝が形成された方向性電磁鋼板を、その圧延方向に沿って切ったときの断面の一例を示す図である。具体的に図 2（a）は、特許文献 3 に記載された技術のように、レーザ光（CO₂レーザ）のみを方向性電磁鋼板 1 0 0 に照射することにより形成された溝の様子を概念的に示す図である。図 2（b）は、本実施形態のように、噴流水柱 C 内に閉

50

じ込められた状態でレーザー光Lを方向性電磁鋼板100に照射することにより形成された溝の様子を概念的に示す図である。

【0021】

図2(a)に示すように、特許文献3に記載された技術では、方向性電磁鋼板100に形成された溝201の縁の部分に導電性の突起部202a、202bが形成される。この突起部202a、202bによって、溝201の縁の部分には、相対的に高い突起が形成される。一方、図2(b)に示すように、噴流水柱C内に閉じ込められた状態でレーザー光Lを照射すれば、溶融物の少なくとも一部は、噴流水柱Cと共に方向性電磁鋼板100の外部に流される。よって、方向性電磁鋼板100に形成された溝101の縁の部分には、相対的に低い突起(突起部111a、111b)が形成される。

10

【0022】

すなわち、方向性電磁鋼板100の表面の平らな部分(突起の影響がない部分)からの高さHは、図2(a)に示す突起部202よりも、図2(b)に示す突起部111の方が低くなる。本実施形態では、この突起部111の高さHが3[μm]以下にしている。突起部111の高さHを3[μm]以下にすれば、方向性電磁鋼板100の表面に絶縁皮膜が形成されたときに、当該絶縁皮膜の厚みよりも極端に高い導電部が露出することがなくなり(好ましくは、導電部が露出しなくなり)、巻き鉄心における層間の電気絶縁性が劣化することを防止できるからである。

【0023】

[[溝101の間隔]]

また、本実施形態では、圧延方向で相互に隣り合う2つの溝101の間隔Iを、2[mm]以上15[mm]以下の範囲、好ましくは2[mm]以上8[mm]以下の範囲で略等間隔にしている。溝101の間隔Iの上限値をこのようにした理由は、溝101の間隔Iが8[mm]を超えると、磁区制御の効果(すなわち、鉄損の改善代)が減少傾向になり、15[mm]を超えると、その効果がより減少するからである。一方、溝101の間隔Iの下限値をこのようにした理由は、溝101の間隔Iを2[mm]未満にしても、磁区制御の効果(すなわち、鉄損の改善代)が殆ど変わらず、しかも、生産性が著しく悪化するからである。尚、本実施形態では、溝101を形成している面のうち、方向性電磁鋼板100の表面の平らな部分(突起の影響がない部分)と同じ高さの位置112a、112bを、溝101の間隔Iを測定する際の基準となる位置としている。また、溝101の間隔Iのそれぞれは、前述した範囲であれば、必ずしも略等間隔である必要はない。

20

30

【0024】

[[溝101の幅]]

また、本実施形態では、各溝101a~101cの幅W(圧延方向における長さ)を、5[μm]以上200[μm]以下の範囲で略同じにしている。溝101a~101cの幅Wの上限値をこのようにした理由は、溝101a~101cの幅Wが200[μm]を超えると、方向性電磁鋼板100における磁束密度の低下が大きくなると共に、既存のウォータージェットレーザーの標準的な仕様の範囲で噴流水柱Cを形成した場合、突起部111の高さHが3[μm]を超える虞があるからである。一方、溝101a~101cの幅Wの下限値をこのようにした理由は、溝101a~101cの幅Wが5[μm]未満であると、噴流水柱の溝からの排出が不安定になり、溝101の安定性が著しく低下するからである。尚、本実施形態では、溝101を形成している面のうち、方向性電磁鋼板100の表面の平らな部分(突起の影響がない部分)と同じ高さの位置112a、112bを、溝101の幅Wを測定する際の基準となる位置としている。また、溝101の幅Wのそれぞれは、前述した範囲であれば、必ずしも略同じである必要はない。

40

【0025】

[[溝101の深さ]]

また、本実施形態では、各溝101a~101cの深さDを、方向性電磁鋼板100の板厚の4[%]以上15[%]以下の範囲、好ましくは6[%]以上12[%]以下の範囲で略同じにしている。溝101の深さDの上限値をこのようにした理由は、溝101の

50

深さDが、方向性電磁鋼板100の板厚の12 [%]を超えると、磁束密度の低下が大きくなり、15 [%]を超えると、その傾向が顕著になって溝101を形成することによって却って鉄損が大きくなる虞があるからである。一方、溝101の深さDの下限値をこのようにした理由は、溝101の深さDが、方向性電磁鋼板100の板厚の6 [%]未満になると、磁区制御の効果（すなわち、鉄損の改善代）が小さくなり、4 [%]未満になると、磁区制御の効果が殆ど得られないからである。尚、本実施形態では、溝101を形成している面のうち、方向性電磁鋼板100の表面の平らな部分（突起の影響がない部分）と同じ高さの位置112a、112bを、溝101の深さDの頂部の位置としている。また、溝101の深さDのそれぞれは、前述した範囲であれば、必ずしも略同じである必要はない。

10

【0026】

[実施例]

次に、本発明の実施例を説明する。

[[実施例1]]

実施例1では、特許文献3に記載の技術に対する本実施形態の技術の優位性について示す。

実施例1では、厚みが0.23 [mm]の方向性電磁鋼板を前述したようにして製造したものを使用した。比較例1でも、実施例1と同じ条件で製造した、厚みが0.23 [mm]の方向性電磁鋼板を使用した。

20

【0027】

図3は、溝101、202の深さDと、突起部111、202の高さHとの関係を表形式で示す図である。

実施例1では、Nd:YAGレーザの2倍波（ $\lambda = 532 \text{ nm}$ ）のパルスレーザ（20 kHz）を用い、噴流水柱を通して照射した。溝101の深さDが図3に示す値になるように、レーザ光Lのスキャン速度を調整すると共に、溝101の幅Wが100 [μm]で一定となるようにノズル32の径（レーザ光Lのスポットの径）を調整し、更に、溝101の間隔Iが3 [mm]で一定となるようにした。また、レーザ光Lのスキャン方向を、圧延方向に対して直角の方向とした。また、噴流水柱Cの圧力と流量は、レーザ光Lをガイド（案内）することができ、且つ、方向性電磁鋼板100の溝201の縁の部分に形成される突起部202a、202bを流出できる範囲で一定となるようにした。

30

一方、比較例1では、CO₂レーザを使用して、実施例1と同じ条件の溝201を形成した。

図3に示すように、溝101、201の深さDが同じである場合、突起部111、202の高さHは、実施例1の方が比較例1に比べ格段に低くなるのが分かる。

【0028】

[[実施例2]]

実施例2でも、実施例1と同様に、特許文献3に記載の技術に対する本実施形態の技術の優位性について示す。

実施例2及び比較例2では、厚みが0.23 [mm]の方向性電磁鋼板を前述したようにして製造したものを使用した。

40

図4は、焦点からの距離と、溝101、202の深さDとの関係を表形式で示す図である。図5は、比較例における焦点からの距離（図5(a)）と、実施例における焦点からの距離（図5(b)）を概念的に示す図である。

【0029】

図5(a)に示すように、レーザ光Lのみを照射する場合には、そのビーム径は、その焦点510の位置で最も小さく、焦点510から離れるに従って大きくなる。図4の比較例における焦点からの距離とは、焦点510と、方向性電磁鋼板100におけるレーザ光Lの照射面511a、511bとの、方向性電磁鋼板100の厚み方向における位置の差Sであり、焦点510を基準にしてレーザ光Lの照射口から遠ざかる方向（図5(a)の下側）を正（プラス）とする値である。例えば、方向性電磁鋼板100におけるレーザ光

50

Lの照射面が照射面511aの位置にあるときに、焦点からの距離は0[m m]となる。

【0030】

一方、図5(b)に示すように、噴流水柱C内に閉じ込められた状態でレーザ光Lを照射する場合には、そのビーム径は、ノズル32を出てから略一定となる。前述したように、ウォータージェットレーザでは、レーザ光Lを噴流水柱Cで導光する。ウォータージェットレーザでは、レーザ光Lの焦点を明確に定義できない。そこで、本実施形態では、ノズル32の先端面520から方向性電磁鋼板100のある方向(図5(b)の下側)に5[m m]の位置521を焦点と見なす。図4の実施例における焦点からの距離とは、この位置521と、方向性電磁鋼板100におけるレーザ光Lの照射面522a、522bとの、方向性電磁鋼板100の厚み方向における位置の差Tであり、この位置521を基準にしてレーザ光Lの照射口から遠ざかる方向(図5(b)の下側)を正(プラス)とする値である。例えば、方向性電磁鋼板100におけるレーザ光Lの照射面が照射面522aの位置にあるときに、焦点からの距離は0[m m]となる。

10

【0031】

図4に示すように、比較例2では、焦点からの距離が変わると、溝201の深さDが大きく変動するのに対し、実施例2では、焦点からの距離が変わっても、溝101の深さDは殆ど変更しないことが分かる。

【0032】

[[実施例3]]

実施例3では、溝101の幅Wを調査した結果を示す。

20

実施例3では、厚みが0.23[m m]の方向性電磁鋼板を前述したようにして製造したものを使用した。

【0033】

図6は、溝101の幅Wと、突起部111の高さHとの関係を表形式で示す図である。

実施例3では、溝101の幅Wが図6に示す値になるように、ノズル32の径(レーザ光Lのスポットの径)を調整すると共に、溝101の深さDが10[μ m]で一定になるように、レーザ光Lのスキャン速度を調整し、更に、溝101の間隔Iが3[m m]で一定となるようにした。また、レーザ光Lのスキャン方向を、圧延方向に対して直角の方向とした。また、噴流水柱Cの圧力と流量は、レーザ光Lをガイド(案内)することができ、且つ、方向性電磁鋼板100の溝201の縁の部分に形成される突起部202a、202bを流出できる範囲で一定となるようにした。

30

【0034】

図6に示すように、溝101の幅Wが、5[μ m]以上200[μ m]以下の範囲であれば、突起部111の高さHを3[μ m]以下にすることができることが分かる。尚、今回使用した加工ヘッド30(ウォータージェットレーザ)では、スキャン速度を、その仕様下限である20[m m / s e c]にしても、幅Wが3[μ m]以下であり、且つ、深さDが10[μ m]である溝101を形成することができなかった。

【0035】

[[実施例4]]

実施例4では、溝101の深さDを調査した結果を示す。

40

実施例4では、厚みが0.23[m m]の方向性電磁鋼板を前述したようにして製造したものを使用した。

図7は、方向性電磁鋼板100の板厚に対する溝101の深さの割合(=(溝の深さ/方向性電磁鋼板の板厚)×100[%])と、溝101の深さDと、溝101の間隔Iと鉄損と、突起部111の高さHとの関係を示す図である。尚、以下の説明では、「方向性電磁鋼板100の板厚に対する溝101の深さの割合」を必要に応じて「溝101の深さ割合」と称する。

【0036】

実施例4では、溝101の深さDが図7に示す値になるように、レーザ光Lのスキャン速度を調整すると共に、溝101の幅Wが100[μ m]で一定になるように、ノズル3

50

2の径(レーザ光Lのスポットの径)を調整し、更に、溝101の深さDのそれぞれの値において、溝101の間隔Iが2[m m]、3[m m]、及び15[m m]で一定となるようにした。また、レーザ光Lのスキャン方向を、圧延方向に対して直角の方向とした。また、噴流水柱Cの圧力と流量は、レーザ光Lをガイド(案内)することができ、且つ、方向性電磁鋼板100の溝201の縁の部分に形成される突起部202a、202bを流出できる範囲で一定となるようにした。そして、このような条件で溝101が形成された方向性電磁鋼板100を、磁束密度が1.7[T]、周波数が50[Hz]の条件で励磁させたときの鉄損と、突起部111の高さHを測定した。ここで、溝101を形成する前の方向性電磁鋼板100(原板)の、磁束密度が1.7[T]、周波数が50[Hz]の条件で励磁させたときの鉄損は、0.85[W/kg]であった。

10

【0037】

図7に示すように、溝の深さ割合を4[%]以上15[%]以下にすれば、原板の鉄損よりも低い鉄損となり、且つ、突起部111の高さHが3[μ m]以下になることが分かる。更に、図7に示すように、溝の深さ割合を6[%]以上12[%]以下にすれば鉄損の改善代が大きくなるので好ましく、溝の深さ割合を8[%]又は12[%]にすれば鉄損が最小となるので最も好ましいことが分かる。

【0038】

[[実施例5]]

実施例5では、溝101の間隔Iを調査した結果を示す。実施例5では、厚みが0.27[m m]の方向性電磁鋼板を前述したようにして製造したものを使用した。

20

図8は、溝101の間隔Iと、溝101の深さDと、鉄損との関係を示す図である。

【0039】

実施例5では、溝101の間隔Iが図8に示す値になるようにすると共に、溝101の幅Wが80[μ m]で一定になるように、ノズル32の径(レーザ光Lのスポットの径)を調整し、更に、溝101の間隔Iのそれぞれの値において、溝101の深さDが11[μ m]、21[μ m]、及び40[μ m]で一定となるように、レーザ光Lのスキャン速度を調整した。また、レーザ光Lのスキャン方向を、圧延方向に対して直角の方向とした。また、噴流水柱Cの圧力と流量は、レーザ光Lをガイド(案内)することができ、且つ、方向性電磁鋼板100の溝201の縁の部分に形成される突起部202a、202bを流出できる範囲で一定となるようにした。そして、このような条件で溝101が形成された方向性電磁鋼板100を、磁束密度が1.7[T]、周波数が50[Hz]の条件で励磁させたときの鉄損を測定した。ここで、溝101を形成する前の方向性電磁鋼板100(原板)の、磁束密度が1.7[T]、周波数が50[Hz]の条件で励磁させたときの鉄損は、0.94[W/kg]であった。尚、溝101の間隔Iを2[m m]以下にすると、溝101の生産性が著しく低下するので、溝101の間隔Iが2[m m]未満のものについては調査しなかった。

30

【0040】

図8に示すように、溝の間隔Iを2[m m]以上15[m m]以下にすれば、原板の鉄損よりも低い鉄損となり、2[m m]以上8[m m]以下にすれば鉄損の改善代が大きくなるので好ましいことが分かる。

40

【0041】

[まとめ]

以上のように本実施形態では、仕上焼鈍後の方向性電磁鋼板100、又は、仕上焼鈍後に表面に絶縁皮膜が形成された方向性電磁鋼板100の表面に、噴流水柱C内に閉じ込められた状態でレーザ光Lを照射して、幅Wが5[μ m]以上200[μ m]以下であり、深さDが方向性電磁鋼板100の板厚の4[%]以上15[%]以下であり、長手方向が方向性電磁鋼板100の圧延方向に対し±15[°]以内の方向にある複数の溝101を、方向性電磁鋼板100の圧延方向において2[m m]以上15[m m]以下の間隔Iで形成するようにした。このように、噴流水柱C内に閉じ込められた状態でレーザ光Lを照射してレーザ光Lを噴流水柱Cで導光するので、溝101の縁の部分に形成される突起部

50

111の高さHを低減することができると共に、焦点からの距離の変動による溝101の深さDの変動を低減することができる。よって、例えば、巻き鉄心における層間の電気絶縁性が劣化することを防止することができると共に、レーザ光Lの焦点からの距離の変動によって溝101による磁区制御の効果にバラツキが生じることを防止することができる。よって、良好な磁気特性を有する方向性電磁鋼板100を安定的に得ることができる。また、以上の数値範囲の条件で溝101を形成するので、方向性電磁鋼板100に溝101を導入することによって鉄損を確実に改善することができる。

【0042】

本実施形態では、噴流水柱Cを用いるようにしたが、レーザ光Lにより方向性電磁鋼板100に溝101を形成することにより溝101の縁の部分に形成される突起部の少なくとも一部を方向性電磁鋼板100の外部に流すことができれば、必ずしも水を使用する必要はなく、他の液体（噴流液柱）を用いるようにしてもよい。

10

尚、本実施形態では、溝101を線状（直線状）に形成しているが、圧延方向に対して略直角の方向に形成するようにしていれば、必ずしも溝101を線状に形成する必要はなく、例えば、破線状又は点線状の溝を形成するようにしてもよい。

【0043】

尚、以上説明した本発明の実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、またはその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

20

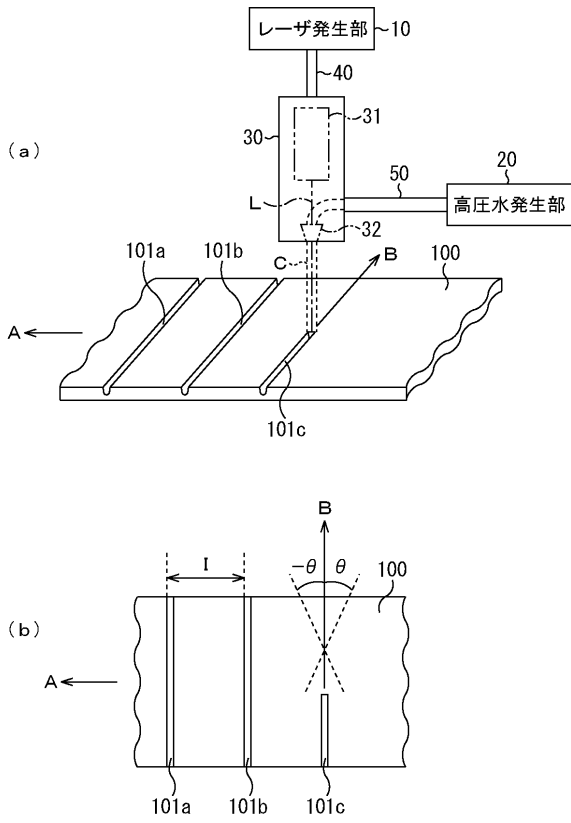
【符号の説明】

【0044】

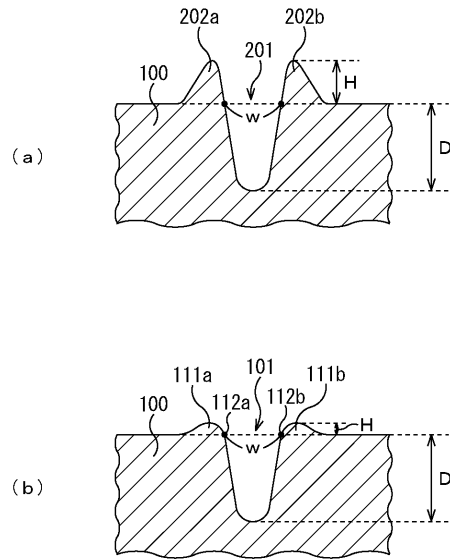
- 10 レーザ発生部
 - 20 高圧水発生部
 - 30 加工ヘッド
 - 31 光学部品
 - 32 ノズル
 - 100 方向性電磁鋼板
 - 101 溝
 - 111 突起部
 - D 溝の深さ
 - H 突起部の高さ
 - I 溝の間隔
 - L レーザ光
 - T 焦点からの距離
 - W 溝の幅
- 圧延方向に対して直角の方向からの角度

30

【 図 1 】



【 図 2 】



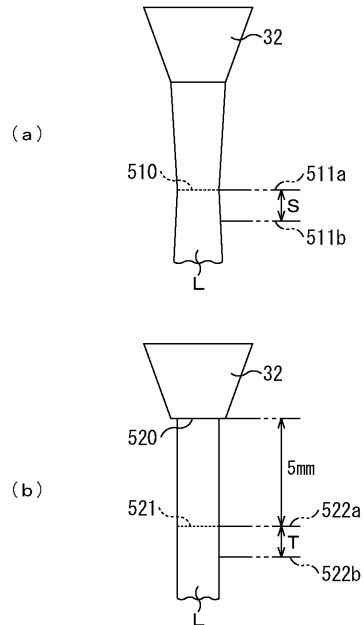
【 図 3 】

溝の深さ(μm)		10	20	40	60	80
突起部の高さ(μm)	比較例1	4	10	16	20	30
	実施例1	0.5	1.0	2.1	4.9	9.2

【 図 4 】

焦点からの距離(mm)	0 (Just focus)	1	2	3	5	10	15	20
溝の深さ(D)(μm)	比較例2	20	16	12	4	-	-	-
	実施例2	20	20	20	20	20	20	20

【 図 5 】



【 図 6 】

溝の幅(μm)	5	10	20	40	80	140	200	280
溝周囲の突起部の高さ(μm)	0.1	-0.1	0.1	0.5	0.9	1.8	2.9	5.1

【 図 7 】

溝の深さ割合 (%)	溝の深さ (μm)	溝の間隔 (mm)	鉄損W17/50 (W/kg)	突起部の高さ (μm)	備考
3	7	2	0.82	0.2	比較例
4	9		0.76	0.5	実施例
6	14		0.73	0.7	実施例
8	19		0.71	0.9	実施例
12	28		0.74	1.4	実施例
15	34		0.79	1.8	実施例
18	42		0.85	2.2	比較例
22	51		0.97	3.5	比較例
25	58		1.16	5.0	比較例
3	7		3	0.82	0.2
4	9	0.74		0.5	実施例
6	14	0.72		0.7	実施例
8	19	0.70		1.0	実施例
12	28	0.73		1.3	実施例
15	34	0.78		1.9	実施例
18	42	0.84		2.1	比較例
22	51	0.96		3.6	比較例
25	58	1.12		4.9	比較例
3	7	15		0.85	0.2
4	9		0.79	0.5	実施例
6	14		0.78	0.7	実施例
8	19		0.77	1.0	実施例
12	28		0.76	1.4	実施例
15	34		0.79	1.8	実施例
18	42		0.83	2.0	比較例
22	51		0.94	3.4	比較例
25	58		1.08	4.9	比較例

【 図 8 】

溝の間隔 (mm)	溝の深さ (μm)	鉄損W17/50 (W/kg)	備考
2	11 (深さ割合4%)	0.82	実施例
3		0.82	実施例
5		0.84	実施例
8		0.85	実施例
10		0.87	実施例
12		0.88	実施例
15		0.90	実施例
20		0.93	比較例
25		0.93	比較例
2		21 (深さ割合8%)	0.80
3	0.80		実施例
5	0.82		実施例
8	0.85		実施例
10	0.86		実施例
12	0.87		実施例
15	0.88		実施例
20	0.93		比較例
25	0.93		比較例
2	40 (深さ割合15%)		0.84
3		0.83	実施例
5		0.82	実施例
8		0.85	実施例
10		0.86	実施例
12		0.87	実施例
15		0.88	実施例
20		0.93	比較例
25		0.93	比較例

フロントページの続き

(72)発明者 古賀 重信

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内

(72)発明者 浜谷 剛

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内

Fターム(参考) 4K033 AA02 CA08 CA09 FA12 HA01 HA03 JA04 MA00 PA08 RA04
SA02 TA03 TA06
5E041 AA02 BC01 CA01 NN06