

(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2014-91850
(P2014-91850A)

(43) 公開日 平成26年5月19日(2014.5.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 3 U	4 K 0 3 3
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60	5 E 0 4 1
H O 1 F 1/16 (2006.01)	H O 1 F 1/16 A	
C 2 1 D 9/46 (2006.01)	C 2 1 D 9/46 5 0 1 A	
C 2 1 D 8/12 (2006.01)	C 2 1 D 8/12 A	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2012-242633 (P2012-242633)
(22) 出願日 平成24年11月2日 (2012.11.2)

(71) 出願人 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
(74) 代理人 100126701
弁理士 井上 茂
(74) 代理人 100130834
弁理士 森 和弘
(72) 発明者 尾田 善彦
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 戸田 広朗
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】 電磁鋼板

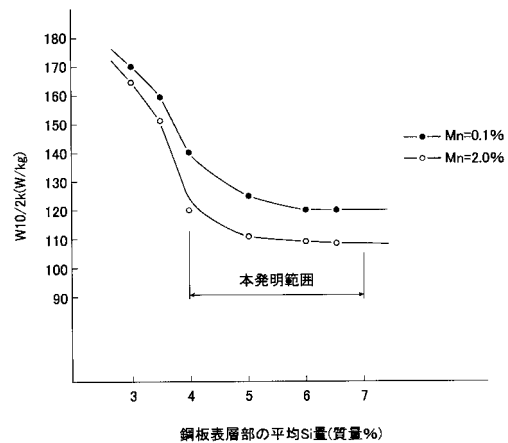
(57) 【要約】

【課題】 打ち抜き時の鉄損劣化を抑制した、高周波鉄損に優れる電磁鋼板を提供する。

【解決手段】 質量%で、鋼板表層部の平均 S i 量が 4 % 以上 7 % 以下、鋼板内層部の平均 S i 量が 5 % 以下であり、Mn : 0 . 5 % 超 5 % 以下を含有し、A s : 0 . 0 0 2 % 以下、S e : 0 . 0 0 2 % 以下とし、残部 F e および不可避不純物からなる成分組成を有し、板厚方向に板厚表面が板厚中心部よりも S i 濃度が高くなる S i の濃度勾配を有し、鋼板表層部の平均 S i 量が鋼板内層部の平均 S i 量に比べて 0 . 5 質量% 以上高く、鋼板表層部厚さの割合が板厚の 0 . 1 ~ 0 . 7 であることを特徴とする電磁鋼板。

ここで、鋼板表層部とは、鋼板の全板厚の平均 S i 量以上の S i 濃度を有する鋼板部分であり、鋼板内層部は鋼板の全板厚の平均 S i 量未満の S i 濃度を有する鋼板部分である。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、鋼板表層部の平均 Si 量が 4% 以上 7% 以下、鋼板内層部の平均 Si 量が 5% 以下であり、Mn : 0.5% 超 5% 以下を含有し、As : 0.002% 以下、Se : 0.002% 以下とし、残部 Fe および不可避不純物からなる成分組成を有し、板厚方向に板厚表面が板厚中心部よりも Si 濃度が高くなる Si の濃度勾配を有し、鋼板表層部の平均 Si 量が鋼板内層部の平均 Si 量に比べて 0.5 質量% 以上高く、鋼板表層部厚さの割合が板厚の 0.1 ~ 0.7 であることを特徴とする電磁鋼板。

ここで、鋼板表層部とは、鋼板の全板厚の平均 Si 量以上の Si 濃度を有する鋼板部分であり、鋼板内層部は鋼板の全板厚の平均 Si 量未満の Si 濃度を有する鋼板部分である。

10

【請求項 2】

さらに、質量%で、Al : 3% 以下を含有することを特徴とする請求項 1 に記載の電磁鋼板。

【請求項 3】

さらに、質量%で、Mg : 0.0003% 以上 0.002% 以下を含有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エアコンコンプレッサーモータやハイブリッド電気自動車用駆動モータなどのモータコア用として好適である、高周波鉄損が低い電磁鋼板に関する。

20

【背景技術】

【0002】

近年、家庭用エアコンコンプレッサーモータでは可変速運転が行われており、最高周波数は 200 ~ 400 Hz 程度である。そのため、PWM 制御等により数 kHz のキャリア周波数が重畳した状態で使用されている。また、最近急速に普及しているハイブリッド電気自動車用駆動モータや電気自動車用駆動モータも、高出力、小型化の観点から数 kHz の周波数で駆動されており、モーターコア用材料について、特に高周波鉄損が低いことが要求されるようになっている。

【0003】

30

ここで、モーターコア用の素材である電磁鋼板は、打ち抜きによりモータコア形状に加工され、その後かしめ、溶接等により締結されて、巻き線後、ハウジング等に圧入もしくは焼きばめにより固定されることにより、モータコアとされる。このため、電磁鋼板は様々な加工歪みを受けることとなり、エプスタイン等で測定される素材の磁気特性に比べ、モータコアに加工後は鉄損等が大きく増加することとなる。

例えば、打ち抜き歪みに関してみると、エプスタイン試験で磁気特性を測定する場合は、試験材は幅 : 30 mm の短冊状試験片に剪断して測定されるが、モータコアではティース幅が比較的大きなモータでも 5 mm 程度であり、小型のモータでは 2 mm 程度となる。ここで、打ち抜いた鉄心形状の面積に対する打ち抜き端面の累計長さの長いものほど、鉄心全体に対する歪みの影響が大きくなり、上記したようなティース幅の場合、打ち抜きによりモータコア鉄損は素材鉄損に比べ 3 ~ 5 割程度も増加することとなる。このため、打ち抜きによる鉄損劣化が小さい電磁鋼板が求められている。

40

【0004】

このような課題を解決するものとして、例えば特許文献 1 には、Si、Mn、S を Si : 0.4 ~ 2.0%、Mn : 0.25 ~ 1.00%、S : 0.015 ~ 0.035% の範囲に制御し、熱間圧延前のスラブ加熱温度を低温とし、熱間圧延の仕上げ温度を比較的高温とする、打ち抜きによる磁気特性の劣化が少なく、磁気特性が良好な無方向性電磁鋼板を得る技術が開示される。この技術は、鋼板中に粗大な MnS を析出させ、打ち抜き時の剪断抵抗を減少させることにより、打ち抜き時の鉄損劣化を抑制しようとするものである。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平8-246052号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1の技術のように、鋼板中に粗大な析出物を析出させることで打ち抜き時の剪断抵抗を減少させようとする、鋼板中の析出物量が多くならざるを得ず、素材である電磁鋼板自体の鉄損が高くなるという問題を有していた。

本発明はこのような問題を鑑みなされたもので、打ち抜き時の鉄損劣化を抑制した、高周波鉄損に優れる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】

【0007】

本発明者が上記課題について鋭意検討したところ、鋼板表層部のSi量を高めるとともに、鋼中のMn量を高め、As量を低減することにより、打ち抜き時に鉄損劣化を起こしやすい狭幅材での高周波鉄損を低減できることが明らかとなった。

【0008】

本発明は、上記知見に基づきなされたもので、その要旨は以下の通りである。

[1] 質量%で、鋼板表層部の平均Si量が4%以上7%以下、鋼板内層部の平均Si量が5%以下であり、Mn:0.5%超5%以下を含有し、As:0.002%以下、Se:0.002%以下とし、残部Feおよび不可避不純物からなる成分組成を有し、板厚方向に板厚表面が板厚中心部よりもSi濃度が高くなるSiの濃度勾配を有し、鋼板表層部の平均Si量が鋼板内層部の平均Si量に比べて0.5質量%以上高く、鋼板表層部厚さの割合が板厚の0.1~0.7であることを特徴とする電磁鋼板。

ここで、鋼板表層部とは、鋼板の全板厚の平均Si量以上のSi濃度を有する鋼板部分であり、鋼板内層部は鋼板の全板厚の平均Si量未満のSi濃度を有する鋼板部分である。

[2] 前記[1]において、さらに質量%で、Al:3%以下を含有することを特徴とする電磁鋼板。

[3] 前記[1]または[2]において、さらに質量%で、Mg:0.0003%以上0.002%以下を含有することを特徴とする電磁鋼板。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、打ち抜きによる特性劣化が小さい材料を得ることができ、エアコンコンプレッサーモータ、ハイブリッド電気自動車用駆動モータ、電気自動車用駆動モータ、情報機器モータ等のティース幅が狭いモータの鉄損を低減できるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】鋼板表層部の平均Si量と鉄損(W10/2k)との関係を示す図である。

【図2】鋼中のMn含有量と鉄損(W10/2k)との関係を示す図である。

【図3】鋼中のAs含有量と鉄損(W10/2k)との関係を示す図である。

【図4】複層比と鉄損(W10/2k)との関係を示す図である。

【図5】鋼板表層部の平均Si量と鋼板内層部の平均Si量の差と鉄損(W10/2k)との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明を実験結果に基づいて詳細に説明する。なお、本明細書において、特にことわらない限り、成分に関する%表示は質量%を意味する。

【0012】

まず、打ち抜きによる磁気特性劣化を調査した。

10

20

30

40

50

質量%で $S i = 3.9\%$ 、 $A l = t r .$ 、 $M n = 0.1\%$ 、 $A s = 0.0001\%$ 、 $S e < 0.0005\%$ とした鋼を実験室にて溶製し、インゴットとした。その後、熱間圧延し、次いで $900 \times 30s$ の熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延して板厚を $0.20mm$ の冷延板とし、引き続き $1000 \times 30s$ の仕上焼鈍を行ない、板厚方向に $S i$ 量が比較的均一な鋼板を得た。ここで得た鋼板の圧延方向および圧延直角方向から、長さ $180mm$ 幅 $30mm$ のエプスタインサンプル、および長さ $180mm$ 幅 $5mm$ のエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製した。また、上記冷延板に 1200 にて 10 分間の浸珪処理を施すことにより、表面から板厚の 30% の部分の平均 $S i$ 量を 6.5% とし、板厚中央部（板厚中心から上下に 40% の部分）の $S i$ 量を 4.5% とした鋼板も作成し、同様に、圧延方向および圧延直角方向から、長さ $180mm$ 幅 $30mm$ のエプスタインサンプル、および長さ $180mm$ 幅 $5mm$ のエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製した。

10

20

30

40

50

【0013】

これらサンプルについて、 $J I S C 2550$ に準拠してエプスタイン試験により鉄損 ($W10/2k$) を測定した結果を表 1 に示す。この際、幅 $5mm$ のサンプルについては、幅方向に 6 枚並べて幅 $30mm$ として測定した。このようにして測定することで、サンプルの幅 $30mm$ の中に 5 ヶ所の剪断部分が含まれることになるので、打抜加工による鉄損特性への影響を評価することができる。なお、表 1 の鉄損 ($W10/2k$) は、圧延方向サンプルおよび圧延直角方向サンプルを半量ずつ用いて求めた鉄損 ($W10/2k$) である。また、鉄損劣化率 (%) = { (幅 $5mm$ 材の鉄損) - (幅 $30mm$ 材の鉄損) } / (幅 $30mm$ 材の鉄損) } $\times 100$ を求め、表 1 に示す。表 1 に示した結果から、仕上焼鈍を行った板厚方向に $S i$ が均一な材料（均一材）では鉄損劣化率が 28.9% であり、 $30mm$ 幅のサンプルに比べ $5mm$ 幅のサンプルでは鉄損が 30% 程度増加していることがわかる。これは打ち抜きにより鋼板端面で塑性変形が生じることに加え、圧縮の応力が残留するためと考えられる。

【0014】

一方、浸珪処理を行い板厚方向に $S i$ の濃度勾配をつけて、表層部を板厚中央部に比べて $S i$ 量を高くした材料（表層高 $S i$ 材）では、鉄損劣化率が 5.3% であり、均一材に比べて打ち抜き幅の影響が小さいことがわかる。また、 $30mm$ 幅サンプルの場合、均一材と表層高 $S i$ 材の鉄損はほぼ同一レベルであるが、 $5mm$ 幅サンプルでは、均一材に比べて表層高 $S i$ 材は大幅に低い鉄損となる。すなわち、板厚方向に $S i$ の濃度勾配をつけて、板厚の表層部を板厚の中央部に比べて高くした鋼板で打ち抜きによる鉄損劣化が抑制されていることがわかる。この原因は明確ではないが、表層部の磁歪が低いことおよび浸珪処理による格子定数変化に起因して鋼板表層部に引張りの残留応力が生じることにより、打ち抜き時の圧縮応力の影響を受けにくくなったのではないかと考えられる。

【0015】

【表 1】

サンプル名	W10/2k(W/kg)		鉄損劣化率(%)
	30mm幅材	5mm幅材	
均一材	114	147	28.9
表層高Si材	113	119	5.3

【0016】

次に鋼板表層部の $S i$ 量の影響について調査した。なお、以下、鋼板表層部とは、鋼板の全板厚の平均 $S i$ 量以上の $S i$ 濃度を有する鋼板部分である。また、鋼板の全板厚の平均 $S i$ 量未満の $S i$ 濃度を有する鋼板部分は鋼板内層部とした。

$S i = 3.0\%$ 、 $A l = t r .$ 、 $M n = 0.1\%$ 、 $A s = 0.0001\%$ 、 $S e < 0.0005\%$ の鋼を用い、熱間圧延し、次いで $900 \times 30s$ の熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を $0.20mm$ とした。その後、 $1200 \times 1 \sim 20min$ の浸珪処理を行い、鋼板表層部の $S i$ 量を変化させた。ここで鋼板表層部の厚さ（鋼板両側表層部の合計の厚さ）が全板厚の 25% となるように、すなわち複層比が 0.25 となるよ

うに、浸珪処理後に1000にて行う拡散処理の処理時間を様々に変化させて調整した。なお、複層比とは、複層比 = (鋼板両側表層部の合計の厚さ) / (鋼板の全板厚) である。

【0017】

また、ここで鋼板表層部の厚さは、鋼板の板厚方向のSiの濃度分布をEPMAにより求め、この濃度分布から、全板厚の平均のSi量を求め、この全板厚の平均Si量以上のSi濃度を有する部分を、鋼板表層部として、鋼板表層部のSi量の平均である鋼板表層部の平均Si量を求めた。

【0018】

また、このようにして得られた鋼板から、圧延方向および圧延直角方向から長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製し、上記と同様にして鉄損(W10/2k)を測定した。

【0019】

図1にここで得た鋼板(0.1%Mn鋼)の鋼板表層部の平均Si量と鉄損(W10/2k)との関係を示す。なお、鋼板内層平均Si量はいずれのサンプルでも3.2%であった。これより鋼板表層部の平均Si量が4%以上で鉄損が低下していることがわかる。このことより鋼板表層部の平均Si量は4%以上、好ましくは4.5%以上とする。なお、鋼板表層部の平均Si量が7%を超えた場合には打ち抜きが困難となるため、上限は7%である。

【0020】

ところで、このような板厚方向にSiの濃度勾配を有する鋼板の高周波鉄損をさらに低減するには、鋼板の固有抵抗を高めることが効果的である。鋼板の固有抵抗を増大させる元素としてSiがあるが、Siをさらに高めた場合には材料が非常にもろくなるため、モータの打ち抜き加工が困難となる。そこで、固有抵抗を高めつつ、鋼板が脆化しない元素としてMnに着目し検討を行った。

【0021】

すなわち、Si = 3.0%、Al = tr.、Mn = 2.0%、As = 0.0001%、Se < 0.0005%の鋼を用い、熱間圧延し、次いで900 × 30sの熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を0.20mmとした。その後、1200 × 1~20minの浸珪処理を行い鋼板表層部のSi量を変化させた。ここで鋼板表層部の厚さが板厚の25% (複層比 = 0.25) となるように、上記したのと同様に浸珪処理後に1000にて行う拡散処理の処理時間を様々に変化させて調整した。また、鋼板表層部の平均Si量は、上記と同様にして求めた。

【0022】

このようにして得た鋼板より、圧延方向および圧延直角方向から長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製し、上記と同様にして鉄損(W10/2k)を測定した。図1にここで得た鋼板(2.0%Mn鋼)の鋼板表層部の平均Si量と鉄損(W10/2k)との関係を示す。なお、鋼板内層平均Si量はいずれのサンプルでも3.2%であった。2.0%Mn鋼は、0.1%Mn鋼よりも鉄損が小さく、特に鋼板表層部の平均Si量が4%以上でMn添加により特に鉄損が大きく低下することがわかる。この理由は明確でないが、Si、Mnの複合効果により鉄損低下が大きくなったのではないかと考えられる。

【0023】

次にMn添加量の影響を調査した。

Si = 3.0%、Al = tr.、As = 0.0001%、Se < 0.0005%、Mn = 0.1~5%と、Mn量を大きく変化した鋼を真空溶解し、熱間圧延後、900 × 30sの熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を0.20mmとした。その後、1200 × 10minの浸珪処理を行い鋼板表層部の平均Si量を6.5%とした。なお、鋼板表層部の平均Si量は、上記と同様にして求めた。また、鋼板表層部の厚さが板厚の25% (複層比 = 0.25) となるように上記したのと同様に浸珪処理後に1000

10

20

30

40

50

にて行う拡散処理の処理時間を様々に変化させて調整した。

このようにして得た鋼板より、圧延方向および圧延直角方向から長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製し、上記と同様にして鉄損(W10/2k)を測定した。図2に鉄損(W10/2k)に及ぼすMn量の影響を示す。これよりMn量0.5%超で鉄損が低下することがわかる。なお、Mnが5%を超えると、Mn添加の効果が飽和し、いたずらにコストアップとなるためMn量の上限は5%とする。

【0024】

次にMn添加鋼の製造安定性を調査するため、上記Mn添加量の影響を調査した図2に示した鋼のうち、2.5%Mn鋼を実験室にて10チャージ溶製し、上記Mn添加量の影響を調査した場合と同様にして鋼板を作製し、鉄損を評価したところ、鉄損の高いものが2チャージ認められた。この原因を調査するため、走査型電子顕微鏡(SEM)にて、鋼板のミクロ組織観察を行ったところ、鉄損の高い材料では粒界にMnAs析出物が認められた。通常の電磁鋼板ではMnAsの析出は認められないが、本検討のようにMn含有量が高い材料ではMnAsが析出しやすくなったものと想定される。

10

【0025】

そこで、鉄損に及ぼすAs量の影響を調査した。

Si = 3.1%、Al = tr.、Mn = 2.5%およびMn = 0.1%、As = 0.0004 ~ 0.0026%、Se < 0.0005%とした鋼を真空溶解し、熱間圧延後、900 x 30sの熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を0.20mmとした。その後、1200 x 10minの浸珪処理を行い、鋼板表層部の平均Si量を6.5%とした。ここで鋼板表層部の厚さが板厚の25% (複層比 = 0.25) となるように、上記したのと同様に浸珪処理後に1000にて行う拡散処理の処理時間を様々に変化させて調整した。

20

【0026】

このようにして得た鋼板より、圧延方向および圧延直角方向から長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製し、上記と同様にして鉄損(W10/2k)を測定した。図3に鉄損に及ぼすAsの影響を示す。Mn = 0.1%鋼ではAsが0.002%超となっても鉄損の増加は認められないが、Mn = 2.5%鋼ではAsが0.002%超となると鉄損が増加することがわかる。このためAsの上限を0.002%とする。なお、AsはMn鉱石、Si鉱石に不純物として含まれることから、高純度の鉱石を使用することが望ましい。

30

【0027】

次に鋼板内層部のSi量について検討した。

Si = 1 ~ 4.5%、Al = tr.、Mn = 2.0%、As = 0.0001%、Se < 0.0005%とした鋼を用い、熱間圧延後、900 x 30sの熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を0.20mmとした。その後、1200 x 1 ~ 20minの浸珪処理を行い鋼板表層部の平均Si量を6%とするとともに、鋼板内層部のSi量を変化させた。

このようにして得た鋼板について、長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルの打ち抜きを行ったところ、鋼板内層部の平均Si量が5%の鋼板では打ち抜きによりサンプルを作製することができたが、5%を超える鋼板では、打ち抜き時に板に亀裂が入り、エプスタインサンプルを作製することが不可能であり、打ち抜き性が劣ることが判った。このことから、鋼板内層部のSi量は5%以下とする。

40

【0028】

次に複層比について検討した。

Al = tr.、Mn = 2.0%、As = 0.0001%、Se < 0.0005%とし、Si含有量を種々変更した鋼素材を、上記と同様に、熱間圧延後、900 x 30sの熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を0.20mmとし、浸珪時間を種々変更して浸珪処理を行い、鋼板表層部の平均Si量 = 6%、鋼板内層部の平均Si量 = 3%、複層比が0.05 ~ 0.9となるようにした鋼板を作製した。

50

このようにして得た鋼板について、圧延方向および圧延直角方向から、長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製し、上記と同様にして鉄損(W10/2k)を測定した。

【0029】

図4に複層比と鉄損(W10/2k)との関係を示す。これより複層比が0.1以上で鉄損が低下していることがわかる。これは表層の高Si部が板厚の0.1未満では低磁歪部および引張り応力残留部の量が小さく、打ち抜き時の鉄損劣化抑制効果が小さいためと考えられる。一方、複層比が0.7超では打ち抜き時に割れが生じたため上限は0.7とする。

【0030】

次に、表層部の平均Si量と内層部の平均Si量の差の影響について検討した。
Si = 4.5%、Al = tr.、Mn = 2.0%、As = 0.0001%、Se < 0.0005%の鋼を用い、熱間圧延後、900 × 30sの熱延板焼鈍を行い、酸洗後、冷間圧延により板厚を0.20mmとした。その後、1200 × 1~20minの浸珪処理を行い鋼板表層部のSi量を変化させた。ここで鋼板表層部は板厚の30% (複層比 = 0.3) となるように、浸珪処理後に1000にて行う拡散処理の処理時間を様々に変化させて調整した。

10

【0031】

このようにして得た鋼板について、圧延方向および圧延直角方向から、長さ180mm、幅5mmのエプスタインサンプルを打ち抜きにより作製し、上記と同様にして鉄損(W10/2k)を測定した。

20

図5に鋼板表層部の平均Si量と鋼板内層部の平均Si量の差と鉄損(W10/2k)との関係を示す。図5より鋼板表層部の平均Si量と鋼板内層部の平均Si量の差が大きくなるにつれて鉄損(W10/2k)は低下し、この差が0.5質量%以上では鉄損(W10/2k)が安定して低くなることがわかる。これはSi差を大きくすることにより鋼板表層部に引張り応力が発生し、これにより狭幅剪断時の鉄損劣化が抑制できたものと考えられる。

【0032】

上記の実験結果を含め、本発明について説明する。

まず、本発明の成分組成について説明する。本発明の電磁鋼板は、鋼板表層部の平均Si量が4%以上7%以下、鋼板内層部の平均Si量が5%以下であり、Mn: 0.5%超5%以下を含有し、As: 0.002%以下、Se: 0.002%以下とし、残部Feおよび不可避不純物からなる成分組成を有する。

30

【0033】

鋼板表層部の平均Si量が4%以上7%以下

鋼板表層部の平均Si量は打ち抜きによる鉄損劣化に大きく影響し、鋼板表層部の平均Si量を4%以上とすることで、図1に示したように、高周波での鉄損を大きく改善することができる。一方、鋼板表層部の平均Si量が7%を超えると、打ち抜きが困難となる。したがって、鋼板表層部の平均Si量は4%以上7%以下とする。

【0034】

鋼板内層部の平均Si量が5%以下

鋼板内層部の平均Si量が5%を超えると、上記したように、狭幅材を打ち抜く際に亀裂が入るなど、打ち抜きが困難となる。したがって、鋼板内層部の平均Si量は5%以下とする。

40

なお、本発明の鋼板のSi含有量、すなわち、全板厚の平均Si量は、4%~6.5%程度とすることが、鉄損を良好にする観点から好ましい。

【0035】

Mn: 0.5%超5%以下

鋼板中のMn量を0.5%超とすることで、図2に示したように、高周波での鉄損を改善することができる。一方、Mn量が5%を超えても、Mn添加の効果が飽和し、コストアップとなるだけであるため、Mn量の上限は5%とする。

【0036】

50

As : 0.002% 以下

As は不純物であるが、Mn 含有量が高い本発明の鋼板では MnAs が析出しやすく、MnAs が析出すると鉄損が劣化する。本発明のように Mn 量が高い電磁鋼板でも、図 3 に示したように、As 量を 0.002% 以下とすることで、As による鉄損の劣化を抑制することができるため、As 量の上限を 0.002% に規制する。

【0037】

Se : 0.002% 以下

Se は不純物であり、Mn 含有量が 0.5% 以下の場合にはそれほど問題とならないが、Mn 含有量が 0.5% を超える場合には、鋼板中の Se 量が 0.002% を超えると MnSe を形成し、鉄損が増加するため、Se 量の上限を 0.002% に規制する。なお、Se 量の上限は 0.001% とすることがより好ましい。

10

【0038】

上記が、本発明の電磁鋼板の基本組成であり、残部は Fe および不可避不純物であるが、本発明では上記成分組成に加えて、以下に示す元素を適宜含有させることができる。

【0039】

Al : 3% 以下

Al は固有抵抗を上げるために有効な元素であるため、0.1% 以上の添加が好ましい。一方、鋼板中の Al 量が 3% を超えると材料が脆くなり、打ち抜きが困難となるため、Al 量の上限は 3% とする。

【0040】

20

Mg : 0.0003% 以上 0.002% 以下

Mg を 0.0003% 以上添加すると硫化物系の析出物が粗大化して、鉄損が低減される。一方、0.002% を超えて添加してもそれ以上鉄損は低減されず、いたずらにコストアップを招く。したがって、Mg 量を 0.0003 ~ 0.002% の範囲として、Mg を添加することが好ましい。

【0041】

次に本発明の電磁鋼板の Si の分布について説明する。

本発明の電磁鋼板は、板厚方向に板厚表面が板厚中心部よりも Si 濃度が高くなる Si の濃度勾配を有し、鋼板表層部の平均 Si 量が鋼板内層部の平均 Si 量に比べて 0.5 質量% 以上高く、すなわち、(鋼板表層部の平均 Si 量) - (鋼板内層部の平均 Si 量) 0.5 質量% であり、鋼板表層部厚さの割合が板厚の 0.1 ~ 0.7、すなわち複層比 = 0.1 ~ 0.7 である。

30

【0042】

板厚方向に板厚表面が板厚中心部よりも Si 濃度が高くなる Si の濃度勾配

表 1 に示したように、板厚方向に均一な Si の濃度分布を有する場合に比べ、板厚表面が板厚中心部よりも Si 濃度が高くなる Si の濃度勾配を有することで、打ち抜きによる鉄損劣化を抑制することができる。したがって、本発明の電磁鋼板は、板厚表面が板厚中心部よりも Si 濃度が高くなる Si の濃度勾配を有することとする。

【0043】

(鋼板表層部の平均 Si 量) - (鋼板内層部の平均 Si 量) 0.5%

40

図 5 に示したように、鋼板表層部の平均 Si 量と鋼板内層部の平均 Si 量の差を 0.5 質量% 以上とすることで、鉄損 (W10/2k) を安定して低くすることができる。したがって (鋼板表層部の平均 Si 量) - (鋼板内層部の平均 Si 量) 0.5 質量% とする。

【0044】

複層比 = 0.1 ~ 0.7

鋼板表層部厚さの板厚に対する割合である複層比を 0.1 以上とすることで、図 4 に示したように、5mm という狭幅材でも鉄損の劣化を抑制することができる。一方、複層比が 0.7 を超えると、狭幅材を打ち抜く際に割れが生じ、打ち抜きが困難となる。したがって、複層比は 0.1 ~ 0.7 とする。

【0045】

50

次に、本発明の電磁鋼板の製造方法について説明する。なお、本発明の鋼板を得る製造方法は、以下に説明する製造方法に限定されるものではない。

本発明においては、表層部と内部のSi量を変化させることが重要であり、そのための手法として例えば、鋼を転炉で吹練し、溶鋼を脱ガス処理し所定の成分に調整し、引き続き鑄造を行いスラブとした後、通常の方法にて熱間圧延、次いで、一回の冷間または温間圧延、もしくは中間焼鈍をはさんだ2回以上の冷間または温間圧延により所定の板厚とした後に、仕上焼鈍を行う。引き続き、浸珪処理を行うことにより本発明の表層高Si鋼を得ることができる。ここで、熱間圧延時の仕上温度、巻取り温度は特に規定する必要はなく、通常の場合で構わない。また、熱延後の熱延板焼鈍は行っても良いが必須ではない。

また、成分の異なるインゴットを貼り合わせた後、熱間圧延、冷間圧延、仕上焼鈍を行うことにより表層高Si鋼としても構わない。

10

【0046】

なお、本発明の電磁鋼板の板厚について、特に規定するものではないが、鉄損低減の観点から0.35mm以下とすることが好ましく、より好ましくは0.2mm以下である。なお、下限は生産性の観点から0.05mmとすることが好ましい。

【実施例】

【0047】

表2に示す鋼を用い、転炉で吹練した後に脱ガス処理を行うことにより所定の成分に調整後鑄造し、鋼スラブとした。この鋼スラブを1140℃で1hr加熱した後、板厚2.0mmまで熱間圧延を行った。熱延仕上げ温度は800℃とした。巻取り温度は610℃とし、巻取り後、900℃×30sの熱延板焼鈍を施した。その後、酸洗を行い、0.20mmまで冷間圧延を行い、その後、種々の条件で浸珪処理を施すことにより表2に示す鋼板を得た。なお、浸珪処理後の拡散処理は1200℃で10min間行った。

20

【0048】

得られた鋼板について、前述の方法で、鋼板中のSiの濃度分布を調査し、鋼板表層部、鋼板内層部を特定し、各々の層の平均Si量を求めるとともに、鋼板表層部の平均Si量と鋼板内層部の平均Si量の差を求めた。結果を表2に示す。さらこのようにして得られた鋼板表層部の厚さを求めて複層比を算出し、表2に示す。

【0049】

また、得られた鋼板の圧延方向および圧延直角方向から長さ180mm、幅30mmおよび幅5mmのエプスタインサンプルを切り出し、JIS C2550に準拠してエプスタイン試験により磁気測定(W10/2k)を行い、また得られた結果から、前述の鉄損劣化率を求めた。結果を表2に示す。なお、ここで鉄損(W10/2k)は、圧延方向サンプルおよび圧延直角方向サンプルを半量ずつ用いて求めた鉄損(W10/2k)である。また、サンプルNo.14は鋼板表層部の平均Si量が高く、サンプルNo.17は鋼板内層部の平均Si量が高く、サンプルNo.22は複層比が大きく、サンプルNo.30はAl含有量が高い例であるが、各々、5mm幅のサンプルを打ち抜く際、亀裂や割れの発生などにより、エプスタインサンプルを作成することができなかつたため、鉄損の測定を行わなかつた。

30

【0050】

表2より、本発明の鋼板は、鉄損劣化率が4.7%以下であり、幅狭材を打ち抜いた場合の打ち抜き性劣化が小さく、また、鉄損自体も、周波数2kHz(最大磁束密度1.0T)の時の鉄損で、30mm幅の場合112.0W/kg以下、5mm幅の場合でも116.0W/kg以下と、高周波鉄損にすぐれていることがわかる。

40

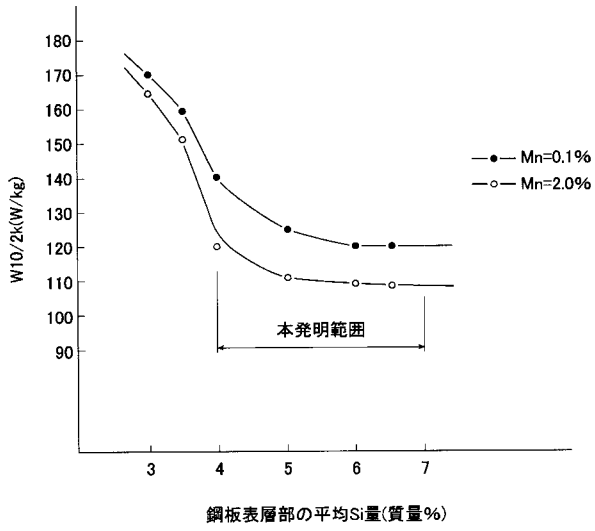
【0051】

【表 2】

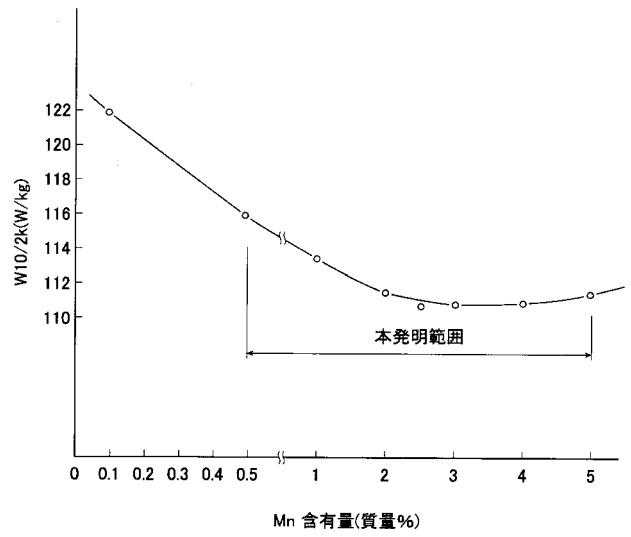
サンプル No	鋼板組成(質量%)										表面平均Si (質量%)	内層部平均Si (質量%)	Al	Mn	As	Se	Mg	表層と内層の Si量の差(質量%)	権層比	板厚 (mm)	仕上焼鈍 温度(°C)	浸注温度 (°C)	浸注時間 (min)	30mm幅のW10/2k (W/kg)	5mm幅のW10/2 (W/kg)	鉄損劣化 率(%)	備考
	表面平均Si (質量%)	内層部平均Si (質量%)	Al	Mn	As	Se	Mg																				
1	4.0	4.0	tr.	0.1	<0.0001	<0.0005	0.0003	0.0	-	0.20	1000	-	118.0	148.0	27.6	比較例											
2	6.5	4.0	tr.	0.1	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	113.0	120.0	6.2	比較例											
3	6.5	4.0	tr.	0.8	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	110.0	114.0	3.8	発明例											
5	6.5	4.0	tr.	1.1	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	108.0	112.0	3.7	発明例											
6	6.5	4.0	tr.	2.2	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	107.0	111.0	3.7	発明例											
7	6.5	4.0	tr.	4.2	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	108.0	113.0	4.6	発明例											
8	6.6	2.5	tr.	3.5	<0.0001	<0.0005	0.0003	4.1	0.30	0.20	1000	1200	111.0	116.0	4.5	発明例											
9	5.1	4.5	tr.	2.2	<0.0001	<0.0005	0.0001*	0.6	0.30	0.20	1000	1200	108.0	112.0	3.7	発明例											
10	4.9	4.5	tr.	2.2	<0.0001	<0.0005	0.0001*	0.6	0.30	0.20	1000	1200	110.0	131.0	19.1	比較例											
11	5.1	4.5	tr.	1.8	<0.0001	<0.0005	0.0001*	1.0	0.30	0.20	1000	1200	107.0	111.0	3.7	発明例											
12	5.5	4.5	tr.	1.8	<0.0001	<0.0005	0.0001*	2.3	0.30	0.20	1000	1200	106.0	110.0	3.8	発明例											
13	6.8	4.5	tr.	1.8	<0.0001	<0.0005	0.0001*	3.0	0.30	0.20	1000	1200	105.0	108.0	3.8	発明例											
14	7.5	4.5	tr.	1.8	<0.0001	<0.0005	0.0003	3.0	0.30	0.20	1000	1200	-	-	-	比較例											
15	6.5	3.0	tr.	2.0	<0.0001	<0.0005	0.0003	3.5	0.30	0.20	1000	1200	112.0	116.0	3.6	発明例											
16	6.5	4.5	tr.	2.0	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.0	0.30	0.20	1000	1200	108.0	112.0	3.7	発明例											
17	6.5	5.5	tr.	2.0	0.0001	<0.0005	0.0003	1.0	0.30	0.20	1000	1200	-	-	-	比較例											
18	6.5	4.0	tr.	0.8	0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	116.0	140.0	20.7	比較例											
19	6.5	4.0	tr.	0.8	0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.20	0.20	1000	1200	108.0	113.0	4.6	発明例											
20	6.5	4.0	tr.	0.8	0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.50	0.20	1000	1200	107.0	112.0	4.7	発明例											
21	6.5	4.0	tr.	0.8	0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.60	0.20	1000	1200	108.0	110.0	3.8	発明例											
22	6.5	4.0	tr.	0.8	0.0001	<0.0005	0.0003	2.5	0.80	0.20	1000	1200	-	-	-	比較例											
23	6.5	4.0	tr.	2.2	0.0005	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	107.0	111.0	3.7	発明例											
24	6.5	4.0	tr.	2.2	0.0014	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	107.0	112.0	4.7	発明例											
25	6.5	4.0	tr.	2.2	0.0026	<0.0005	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	113.0	122.0	8.0	比較例											
26	6.5	4.0	tr.	2.2	<0.0001	0.0011	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	107.0	111.0	3.7	発明例											
27	6.5	4.0	tr.	2.2	<0.0001	0.0027	0.0003	2.5	0.30	0.20	1000	1200	114.0	123.0	7.9	比較例											
28	6.0	3.7	0.50	0.9	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.3	0.30	0.20	1000	1200	106.0	110.0	3.8	発明例											
29	6.0	3.7	2.50	0.9	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.3	0.30	0.20	1000	1200	105.0	109.0	3.8	発明例											
30	6.0	3.7	3.50	0.9	<0.0001	<0.0005	0.0003	2.3	0.30	0.20	1000	1200	-	-	-	比較例											
31	6.5	3.8	tr.	2.0	0.0002	<0.0005	0.0001*	2.7	0.30	0.20	1000	1200	112.0	116.0	3.6	発明例											
32	6.5	3.8	tr.	2.0	0.0002	<0.0005	0.0010	2.7	0.30	0.20	1000	1200	107.0	111.0	3.7	発明例											
33	6.5	3.8	tr.	2.0	0.0002	<0.0005	0.0018	2.7	0.30	0.20	1000	1200	108.0	112.0	3.7	発明例											

*Mg:0.0001%は不純物として混入

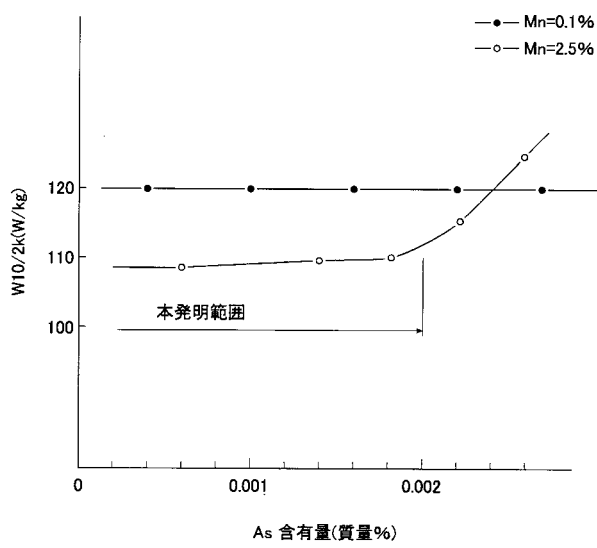
【 図 1 】



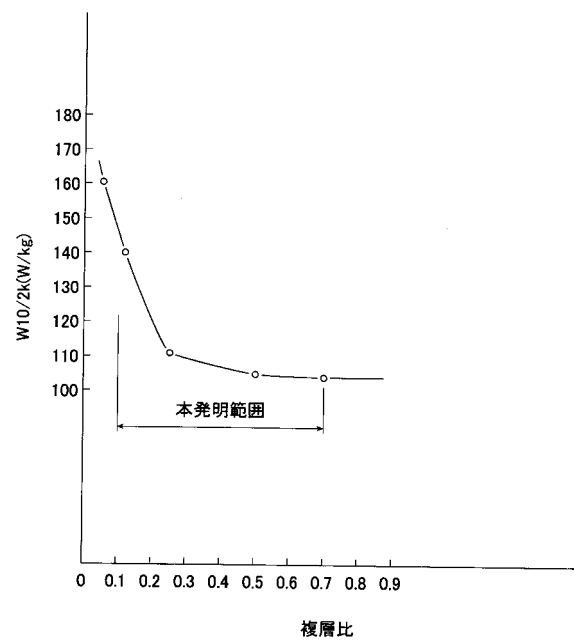
【 図 2 】



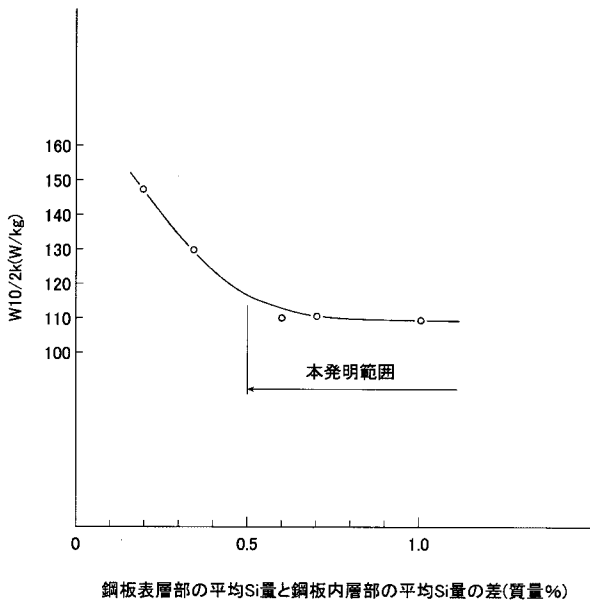
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 小関 新司

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

(72)発明者 平谷 多津彦

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

(72)発明者 中西 匡

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

Fターム(参考) 4K033 CA09 FA01 FA03 FA10 FA13 FA14 GA00 HA00 RA02 TA00
5E041 AA02 CA04 NN01