

(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2017-193731

(P2017-193731A)

(43) 公開日 平成29年10月26日(2017.10.26)

(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 38/06 (2006.01)	C 2 2 C 38/06	5 E 0 4 1
C 2 2 C 38/08 (2006.01)	C 2 2 C 38/08	
C 2 1 D 8/12 (2006.01)	C 2 1 D 8/12 A	
H 0 1 F 1/16 (2006.01)	H 0 1 F 1/16 A	

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2016-82932(P2016-82932)
 (22) 出願日 平成28年4月18日(2016.4.18)

(71) 出願人 000006655
 新日鐵住金株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74) 代理人 100104499
 弁理士 岸本 達人
 (74) 代理人 100101203
 弁理士 山下 昭彦
 (74) 代理人 100129838
 弁理士 山本 典輝
 (72) 発明者 富田 美穂
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日鐵住金株式会社内
 (72) 発明者 藤村 浩志
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
 日鐵住金株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電磁鋼板、及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 磁気特性と強度に優れた電磁鋼板を提供すること。

【解決手段】 - 変態系であり、少なくとも、Si : 2.0質量%以上4.0質量%以下、又はAl : 0.6質量%以上3.0質量%以下を含有し、Feを主成分とする鋼板であって、前記鋼板板面における{100} < 011 > のX線ランダム強度比が30以上400以下であることを特徴とする、電磁鋼板である。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- 変態系であり、少なくとも、Si : 2.0 質量%以上 4.0 質量%以下、又は Al : 0.6 質量%以上 3.0 質量%以下を含有し、Fe を主成分とする鋼板であって、前記鋼板板面における {100} <011> の X 線ランダム強度比が 30 以上 400 以下であることを特徴とする、電磁鋼板。

【請求項 2】

室温から昇温した際に 相から 相が現れ始める温度を T_1 ()、相単相になる温度を T_2 () としたときに、 $T_2 - T_1 \geq 10$ となる化学組成を有する、請求項 1 に記載の電磁鋼板。

10

【請求項 3】

前記 T_1 が 200 超である、請求項 2 に記載の電磁鋼板。

【請求項 4】

{111} <112> の X 線ランダム強度比が 2 以下である、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の電磁鋼板。

【請求項 5】

200 以下でフェライト単相鋼である、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の電磁鋼板。

【請求項 6】

前記フェライト単相鋼の断面において、粒径 15 μm 超のフェライト粒の面積率が 95 % 以上、粒径 0.100 ~ 5 μm のフェライト粒の面積率が 5 % 未満である、請求項 5 に記載の電磁鋼板。

20

【請求項 7】

前記フェライト単相鋼の結晶組織において、粒径 0.100 ~ 5 μm のフェライト粒のうち個数基準で 80 % 以上のフェライト粒が、粒径 15 μm 超のフェライト粒に隣接する、請求項 5 又は 6 に記載の電磁鋼板。

【請求項 8】

Mn 及び Ni より選択される元素のうち 1 種以上を、合計で 2.5 質量%以上、6.5 % 以下含有する、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の電磁鋼板。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法であって、

30

- 変態系であり、少なくとも、Si : 2.0 質量%以上 4.0 質量%以下、又は Al : 0.6 質量%以上 3.0 質量%以下を含有し、Fe を主成分とするインゴットを熱延板とする熱間圧延工程と、

前記熱延板を冷延鋼板とする冷間圧延工程と、

前記冷延鋼板を仕上焼鈍する工程を有し、

前記熱間圧延工程と、前記冷間圧延工程との間に焼鈍工程を有しないことを特徴とする、電磁鋼板の製造方法。

【請求項 10】

前記仕上焼鈍を 相と 相の二相領域で行う、請求項 9 に記載の電磁鋼板の製造方法。

40

【請求項 11】

前記仕上焼鈍の保持温度を T () としたときに、 $T \geq (T_1 + T_2) / 2$ を満たす、請求項 9 に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 12】

前記仕上焼鈍の保持時間が、10 秒以上 240 時間以下である、請求項 9 乃至 11 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 13】

前記仕上焼鈍後において、保持温度 T から T_1 までの冷却速度が、3 / s 以上 600 / s 以下である、請求項 9 乃至 12 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 14】

50

T 1 が 4 0 0 超であって、前記仕上焼鈍後において、保持温度 T から T 1 までの冷却速度を V 1、T 1 から 4 0 0 以下までの冷却速度を V 2 とすると、 $V 1 > V 2$ である、請求項 9 乃至 1 3 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 1 5】

前記冷却速度 V 2 が $5 / s$ 以上である、請求項 1 4 に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 1 6】

前記熱間圧延工程と、前記冷間圧延工程との間に、熱延板の冷却工程を有し、前記熱間圧延工程における仕上圧延において、仕上げ温度が、熱延板の T 2 超であり、前記冷却工程が、T 2 超の前記熱延板を、3 s e c 以内に $2 0 0 / s e c$ 以上の冷却速度で 2 5 0 以下まで冷却する、請求項 9 乃至 1 5 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

10

【請求項 1 7】

前記熱間圧延工程における仕上圧延において、仕上げ温度が、 $T 1 + 5$ 以上 T 2 以下であり、前記冷却工程が T 1 + 5 以上 T 2 以下の前記熱延板を 1 5 s e c 以内に $2 0 0 / s e c$ 以上の冷却速度で 2 5 0 以下まで冷却する、請求項 9 乃至 1 6 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 1 8】

前記冷間圧延工程において、冷間圧下率を 8 8 % 以上とする、請求項 9 乃至 1 7 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 1 9】

前記熱延板のビッカース硬度 $2 0 0 H V$ 以上である、請求項 9 乃至 1 8 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

20

【請求項 2 0】

前記熱延板の転位密度が $2 \times 1 0^{15} / m^2$ 以上である、請求項 9 乃至 1 9 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 2 1】

前記熱延板の平均結晶粒径が $3 0 \mu m$ 以下である、請求項 9 乃至 2 0 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【請求項 2 2】

前記熱延板の再結晶率が 9 0 % 以下である、請求項 9 乃至 2 1 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

30

【請求項 2 3】

前記仕上圧延後の熱延板の鋼板表層における $\{ 1 1 0 \} < 2 2 3 >$ の X 線ランダム強度比が 3 以上であり、 $\{ 3 3 2 \} < 2 4 3 >$ が 0 . 5 以下であり、 $\{ 1 1 2 \} < 1 1 1 >$ が 2 以上であり $\{ 2 2 3 \} < 1 2 2 >$ が 1 以下であり、仕上圧延後の熱延板の $1 / 2 t$ 位置における $\{ 1 0 0 \} < 0 1 1 >$ の X 線ランダム強度比が $\{ 3 1 1 \} < 0 1 1 >$ の X 線ランダム強度比より小さいことを特徴とする、請求項 9 乃至 2 2 のいずれか一項に記載の電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0 0 0 1】

本発明は、電動機、発電機、変圧器の磁心等の用途に好適であり、これらの磁心の小型化や高効率化に貢献できる磁束密度を高めた電磁鋼板およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

地球温暖化対策等のため、モータや発電機は高効率が求められている。そのため、モータや発電機等の磁心に使用される電磁鋼板には高磁束密度化と低鉄損化が求められており、特に高周波領域での低鉄損化が強く求められている。電磁鋼板の磁束密度を高めるためには、鉄の磁化容易軸方向である $< 1 0 0 >$ 方向を板面内に有する結晶粒をより多く含有すれば良い。

50

【0003】

特許文献1には、Si：2.0～8.0mass%およびMn：0.005～1.0mass%を含み、かつ、Alの含有量を200ppm以下、Cの含有量を50ppm以下、S、NおよびOの含有量を各々30ppm以下とし、残部はFeおよび不可避的不純物からなり、平均結晶粒径が0.10～1.0mmであり、{110}〈011〉方位からの方位差が15°以下の結晶粒の面積率が15%以上、かつ隣り合う結晶粒の方位差が15°以下の粒界の結晶粒界全体に占める割合が80%以下とする方向性電磁鋼板およびその製造方法が示されている。この技術では板面に{110}〈011〉方位を極めて強く集積させられるものの、{110}〈011〉方位には磁化容易軸方向である〈100〉方向が一方向しか含まれていないため、モータや発電機等の磁心のように回転するような部材には適しているとは言い難い。

10

【0004】

特許文献2にはSi：4%以下、Al：3%以下を含有する鋼板インゴットを、熱間圧延後、92%以上の圧延率で最終圧延し、次いで、脱炭焼鈍し、仕上焼鈍することにより板面に{100}〈011〉方位が集積し、圧延方向に対して45°方向の磁気特性に優れた電磁鋼板の製造方法が記載されている。板面に{100}〈011〉方位を集積させると、磁化容易軸方向である〈100〉方向が二方向含まれるため、モータ材料として使用する際に高トルクを得ることが出来る。しかしながら、特許文献2の手法は、脱炭焼鈍をFe単相域で短時間で行っているために脱炭が不十分であり、鉄損は十分に低いとは言い難い。

20

【0005】

また、鉄損を低減するためには電磁鋼板の固有抵抗を増加させ、渦電流損を減少させることが有効である。特許文献3にはC：0.005%以下、Si：3.0～4.0%、Mn：2.2～8.0%、P：0.020%以下、S：0.005%以下、Al：0.10～2.00%、N：0.005%以下で、かつ $Si(\%) + Al(\%) - 0.5 \times Mn(\%) \geq 2.0$ で、残部はFeおよび不可避的不純物からなる低鉄損無方向性電磁鋼板が記載されている。しかしながら、特許文献3の電磁鋼板は、高周波特性が必要な用途では十分ではなかった。

高周波領域で使用されるモータや発電機は高速で回転するために、電磁鋼板には優れた磁気特性だけでなく、高速回転に耐えうるだけの強度も必要になる。例えば特許文献4にはSi：2.0～3.5%を含有する鋼に、MnやNiで固溶強化を図る方法が記載されている。しかしながら高周波領域で使用するには固溶強化だけでは十分ではなかった。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第4032162号

【特許文献2】特開2007-051338号公報

【特許文献3】特許第2666626号

【特許文献4】特開平2-22442号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は上記の従来技術の現状に鑑みて、磁気特性と強度に優れた電磁鋼板、及びその製造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】

【0008】

本発明者らは優れた磁気特性と強度を実現するために、SiやAlの添加量および高強度が得られる金属組織の構成について鋭意研究、検討を行った。その結果、{100}〈011〉を強く集積させることで解決できることが判明した。さらに粒径15μm超の組織中に粒径5μm以下の微細な組織を分散させて転位運動を阻害することで、高い磁束密

50

度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られることを見出した。詳細には - 変態系であり、少なくとも、Si : 2.0質量%以上4.0質量%以下、又はAl : 0.6質量%以上3.0質量%以下を含有する鋼板を、熱延条件を制御して高ひずみ状態の熱延板にすることで{100} < 011 > が著しく高集積化し、高周波領域における鉄損が著しく低減される。

本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、その要旨とするところは以下の通りである。

【0009】

即ち、本発明に係る電磁鋼板は、 - 変態系であり、少なくとも、Si : 2.0質量%以上4.0質量%以下、又はAl : 0.6質量%以上3.0質量%以下を含有し、Feを主成分とする鋼板であって、前記鋼板板面における{100} < 011 > のX線ランダム強度比が30以上400以下であることを特徴とする。

10

【0010】

本発明の電磁鋼板においては、室温から昇温した際に 相から 相が現れ始める温度をT1()、 相単相になる温度をT2()としたときに、T2 - T1 10 となる化学組成を有することが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

【0011】

本発明の電磁鋼板においては、前記T1が200 超であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

20

【0012】

本発明の電磁鋼板においては、{111} < 112 > のX線ランダム強度比が2以下であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

【0013】

本発明の電磁鋼板は、200 以下でフェライト単相鋼であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

【0014】

本発明の電磁鋼板は、前記フェライト単相鋼の断面において、粒径15 μm超のフェライト粒の面積率が95%以上、粒径0.100 ~ 5 μmのフェライト粒の面積率が5%未満であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

30

【0015】

本発明の電磁鋼板は、前記フェライト単相鋼の結晶組織において、粒径0.100 ~ 5 μmのフェライト粒のうち個数基準で80%以上のフェライト粒が、粒径15 μm超のフェライト粒に隣接することが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

【0016】

また、本発明の電磁鋼板においては、Mn及びNiより選択される元素のうち1種以上を、合計で2.5質量%以上6.5%以下含有することが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

40

【0017】

本発明に係る電磁鋼板の製造方法は、前記本発明に係る電磁鋼板の製造方法であって、 - 変態系であり、少なくとも、Si : 2.0質量%以上4.0質量%以下、又はAl : 0.6質量%以上3.0質量%以下を含有し、Feを主成分とするインゴットを熱延板とする熱間圧延工程と、

前記熱延板を冷延鋼板とする冷間圧延工程と、

前記冷延鋼板を仕上焼鈍する工程を有し、

前記熱間圧延工程と、前記冷間圧延工程との間に焼鈍工程を有しないことを特徴とする。

50

【0018】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記仕上焼鈍を 相と 相の二相領域で行うことが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

【0019】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記仕上焼鈍の保持温度を T () としたときに、 T ($T_1 + T_2$) / 2 を満たすことが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

【0020】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記仕上焼鈍の保持時間が、10秒以上240時間以下であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

10

【0021】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、保持温度 T から T_1 までの冷却速度が、3 / s 以上600 / s 以下であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

【0022】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、 T_1 が400 超であって、前記仕上焼鈍後において、保持温度 T から T_1 までの冷却速度を V_1 、 T_1 から400 以下までの冷却速度を V_2 とすると、 $V_1 > V_2$ であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

20

【0023】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記冷却速度 V_2 が5 / s 以上であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

【0024】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記熱間圧延工程と、前記冷間圧延工程との間に、熱延板の冷却工程を有し、

前記熱間圧延工程における仕上圧延において、仕上げ温度が、熱延板の T_2 超であり、前記冷却工程が、 T_2 超の前記熱延板を、3sec以内に200 / sec以上の冷却速度で250 以下まで冷却することが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

30

【0025】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記熱間圧延工程における仕上圧延において、仕上げ温度が、 $T_1 + 5$ 以上 T_2 以下であり、前記冷却工程が $T_1 + 5$ 以上 T_2 以下の前記熱延板を15sec以内に200 / sec以上の冷却速度で250 以下まで冷却することが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

【0026】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記圧延工程において、冷間圧下率を88%以上とすることが、電磁鋼板の { 100 } < 011 > 成分が増加し、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましい。

40

【0027】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記熱延板のビッカース硬度200HV以上であることが、電磁鋼板の { 100 } < 011 > をより集積させる点から好ましい。

【0028】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記熱延板の転位密度が $2 \times 10^{15} / m^2$ 以上であることが、電磁鋼板の { 100 } < 011 > をより集積させる点から好ましい。

【0029】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記熱延板の平均結晶粒径が30 μm 以下で

50

あることが、電磁鋼板の $\{100\} < 011 >$ をより集積させる点から好ましい。

【0030】

本発明の電磁鋼板の製造方法においては、前記熱延板の再結晶化率が90%以下であることが、電磁鋼板の $\{100\} < 011 >$ をより集積させる点から好ましい。

【0031】

また、本発明の電磁鋼板の製造方法においては、仕上圧延後の鋼板表層における $\{110\} < 223 >$ のX線ランダム強度比が3以上であり、 $\{332\} < 243 >$ が0.5以下であり、 $\{112\} < 111 >$ が2以上であり $\{223\} < 122 >$ が1以下であり、仕上圧延後の熱延板の1/2t位置における $\{100\} < 011 >$ のX線ランダム強度比が $\{311\} < 011 >$ のX線ランダム強度比より小さいことが、高い磁束密度が得られる点から好ましい。

10

【発明の効果】

【0032】

本発明によれば、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板、及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】図1は、加工組織の一例を示す光学顕微鏡写真である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

20

以下、本発明に係る電磁鋼板、及びその製造方法について、順に詳細に説明する。

なお、本発明において、元素含有量の「%」は、「質量%」を表すものとする。また、本発明において「主成分」は、元素含有率が50質量%以上であることを示す。

また、本発明において、結晶方位および結晶面は一般的に鋼板内の結晶の方位や測定される結晶面および集合組織を表現する際に用いられる、鋼板表面に対するもので記述する。すなわち、結晶方位は鋼板表面に垂直な方位であり、結晶面は鋼板表面に平行な面である。また、Feの相である体心立方の結晶構造に起因した、結晶面についてのX線測定における消滅則を適用した表現している。例えば、結晶方位については、 $\{100\}$ 、 $\{111\}$ を用い、結晶面や集合組織については、 $\{200\}$ や $\{222\}$ を用いているが、これらは同じ結晶粒に関する情報を表すものである。

30

また、本発明においてX線ランダム強度比とは、結晶方位の集積状況がランダムである試料のX線積分強度に対する比を意味する。

【0035】

[電磁鋼板]

本発明に係る電磁鋼板は、 - 変態系であり、少なくとも、Si:2.0質量%以上4.0質量%以下、又はAl:0.6質量%以上3.0質量%以下を含有し、Feを主成分とする鋼板であって、前記鋼板板面における $\{100\} < 011 >$ のX線ランダム強度比が30以上400以下であることを特徴とする。

【0036】

本発明の電磁鋼板は、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板とすることができる。

40

【0037】

本発明の電磁鋼板の構成により、上記の効果を奏する作用、及び後述する製造方法によって本発明の電磁鋼板が製造される作用については、未解明な部分もあるが、以下のように推測される。

本発明の電磁鋼板は、 - 変態系であり、少なくとも、Si:2.0質量%以上4.0質量%以下、又はAl:0.6質量%以上3.0質量%以下を含有し、Feを主成分とする鋼板を用いる。当該電磁鋼板は、熱間圧延工程の冷却において、加工オーステナイトからフェライト相へと変態させることで、ひずみが解放されることなく蓄積される。その結果、冷間圧延工程前の熱延板は、高ひずみ状態を維持しているものと推測される。また

50

、本発明の製造方法においては、熱間圧延工程と、冷間圧延工程との間に焼鈍工程を有しないことにより、熱間圧延工程で生じた熱延板内のひずみが解放されることなく、冷間圧延工程を行うため、冷延集合組織である繊維状組織が強く発達し、特に{100}<011>成分が増加する。その後、冷延板を焼鈍した場合においても、{100}<011>のX線ランダム強度比が30以上と強く集積する。その結果、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られると推定される。更に、仕上げ焼鈍を二相域で行う場合には、フェライト組織の粒界に微細な高オーステナイト元素領域が析出し、析出強化が起こり、より高強度な電磁鋼板が得られる。

以下、本発明に係る電磁鋼板の各構成についてより詳細に説明する。

【0038】

(鋼板の組成)

本発明の電磁鋼板は、 - 変態系のインゴットであって、更に、Si(ケイ素)又は、Al(アルミニウム)のうち少なくとも1種を含有し、本発明の効果を損なわない範囲で、その他の元素を含有してもよい、Fe(鉄)を主成分とする化学組成を有する。このような化学組成により、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度な電磁鋼板が得られる。

【0039】

本発明において、 - 変態系とは、A3点を有し、A3点未満では相が主相となり、A3点以上では相が主相となる成分系をいう。A3点は、特に限定されないが、本発明の電磁鋼板の製造容易性の点から、600以上1100以下の範囲内に有することが好ましい。なお、A3点は、相と相の熱膨張率の違いを利用して測定することができる。具体的には、対象とする鋼を加熱しながら熱膨張率を測定し、当該熱膨張率の変曲点をA3点とする。

- 変態系のインゴットとしては、例えば、純鉄の他、Mn(マンガン)、Ni(ニッケル)、Co(コバルト)、Cu(銅)及びC(炭素)よりなる群から選択される1種以上の元素を含有するものが挙げられるが、これらに限定されるものではない。

上記の元素を含有する - 変態系のインゴットを用いることにより、粒界の移動速度が著しく遅くなるため、熱間圧延工程で得られた熱延板は、冷却時に加工オーステナイトが維持されながら、ひずみが解放されることなくフェライト相へと変態し、その後、冷延板を焼鈍した場合においても、上記の元素により加工組織中の転位の移動が阻害されるため、得られた電磁鋼板は、{100}<011>成分が強く集積するためである。

【0040】

本発明においてインゴットは、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から、相から相が現れ始める温度をT1()、相単相になる温度をT2()としたときに、T2 - T1 10 となる化学組成を有することが好ましく、当該T1が200超であることがより好ましい。

【0041】

- 変態系のインゴットにおける、Mn、Ni、Co、Cu及びCの含有割合は、特に限定されないが、例えば以下の様な含有割合とすることが好ましい。

Coを含有する場合、Coの含有割合は、1質量%以上20質量%以下とすることが好ましい。Coを1質量%以上含有することにより、オーステナイトが安定化する一方、Coの含有割合が20質量%を超えると、鋼板がもろくなる場合があるからである。

Cuを含有する場合、Cuの含有割合は、0.5質量%以上4質量%以下とすることが好ましい。Cuを0.5質量%以上含有することにより、オーステナイトが安定化する一方、Cuの含有割合が4質量%を超えると、鋼板がもろくなる場合があるからである。

Cを含有する場合、Cの含有割合は、0.005質量%以上0.6質量%以下とすることが好ましい。Cを0.005質量%以上含有することにより、オーステナイトが安定化する一方、Cの含有割合が0.6質量%を超えると、A3点が高くなる場合があるからである。

また、Mn、又は、Niを含有する場合、オーステナイトが安定化する点から、Mn及

10

20

30

40

50

びNiより選択される元素のうち1種以上を、合計で2.5質量%以上含有することが好ましく、3.0質量%以上含有することがより好ましい。また、飽和磁束密度の低減を抑制することができる点からは、Mn及びNiより選択される元素のうち1種以上の含有割合は、合計で6.5%以下であることが好ましく、6.0質量%以下であることがより好ましい。

本発明においては、これらの中でも、Mn及びNiより選択される元素のうち1種以上を、合計で2.5質量%以上6.5%以下含有するインゴットを用いることが好ましい。

【0042】

本発明の電磁鋼板は、Si又はAlの少なくとも一方を所定量含有する。Si又はAlを含有することにより、電磁鋼板に電気抵抗が付与されて、鉄損を低減することができる。

10

【0043】

電磁鋼板がSiを含有する場合、Siの含有率は2.0質量%以上4.0質量%以下である。Siの含有率が2.0質量%以上であることにより、電磁鋼板に電気抵抗が付与されて、鉄損を低減することができる。また、Siの含有率が4.0質量%以下であることにより、冷間圧延時における鋼板の割れを防ぐことができる。

【0044】

電磁鋼板がAlを含有する場合、Alの含有率は0.6質量%以上3.0質量%以下である。Alの含有率が0.6質量%以上であることにより、電磁鋼板に電気抵抗が付与されて、鉄損を低減することができる。また、Alの含有率が3.0質量%以下であること

20

【0045】

(不可避不純物)

本発明の無方向性電磁鋼板は、本発明の効果を損なわない範囲で、不可避的に混入する各種元素(不可避不純物)を含むものであってもよい。このような元素としては、N、P、S等が挙げられるが、これらに限定されるものではない。

【0046】

電磁鋼板中の各元素の含有割合は、例えば、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS法)により測定することができる。具体的には、まず、測定対象となる電磁鋼板を準備する。当該電磁鋼板の一部を切子状にして秤量し、これを測定用試料とする。当該測定用試料を酸に溶解し酸溶解液とし、残渣は濾紙回収して別途アルカリ等に融解し、融解物を酸で抽出して溶液化する。当該溶液と前記酸溶解液とを混合し、必要に応じて希釈することにより、ICP-MS測定用溶液とすることができる。

30

【0047】

($\{100\} < 011 >$ のX線ランダム強度比)

本発明の電磁鋼板は、板面における $\{100\} < 011 >$ のX線ランダム強度比を30以上200以下とすることで、圧延方向に対して45°方向に高い磁束密度を得ることができる。X線ランダム強度比が30以上であることにより、圧延方向に対して45°方向に十分に高い磁束密度を得ることができ、中でも50以上であることが好ましい。また、X線ランダム強度比が200超としても、磁束密度を高める効果は飽和するため、X線ランダム強度は200以下で十分である。

40

$\{100\} < 011 >$ の - Fe相のX線ランダム強度比はX線回折によって測定される - Fe相の $\{200\}$ 、 $\{110\}$ 、 $\{310\}$ 、 $\{211\}$ の極点図を基に級数展開法で計算した、3次元集合組織を表す結晶方位分布関数(Orientation Distribution Function; ODF)から求めることができる。

なお、ランダム強度比とは、特定の方位への集積を持たない標準試料と供試材のX線強度を同条件で測定し、得られた供試材のX線強度を標準試料のX線強度で除した数値である。測定は試料の最表面で行ってもよいし、任意の板厚位置で行ってもよい。その際、測定面は滑らかになるよう化学研磨等で仕上げる。

【0048】

50

また、本発明の電磁鋼板は、板面における $\{111\} <112>$ の X 線ランダム強度比を 2 以下とすることが好ましい。 $\{111\}$ 面は磁化容易軸を含まないため、2 以下であることにより、磁束密度の低下を抑制することができる。 $\{111\} <112>$ の X 線ランダム強度比は上記と同様に ODF から求めることができる。

【0049】

(フェライト粒)

また本発明の電磁鋼板は、200 以下でフェライト単相鋼であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

更に、フェライト単相鋼の断面において、粒径 $15 \mu\text{m}$ 超のフェライト粒の面積率が 95% 以上、粒径 $0.100 \sim 5 \mu\text{m}$ のフェライト粒の面積率が 5% 未満であることが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

10

また、前記フェライト単相鋼の結晶組織において、粒径 $0.100 \sim 5 \mu\text{m}$ のフェライト粒のうち個数基準で 80% 以上のフェライト粒が、粒径 $15 \mu\text{m}$ 超のフェライト粒に隣接することが、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板となる点から好ましい。

本発明において、フェライト粒は、電磁鋼板の表層を光学顕微鏡等で観察して確認することができる。

なお、電磁鋼板の表層とは、板厚を t としたときに金属板の最表面から $1/3t$ の間の任意の位置とする。粒界の傾角および長さは、Fe 系金属板を SEM-EBSD を用いて求めることができる。観察面積は十分な数の結晶粒が観察できるように $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$ 以上が好ましい。観察面積は同一試料において複数の視野を足し合わせても良い。

20

【0050】

本発明の電磁鋼板の厚みは、用途等に応じて適宜調整すればよく特に限定されるものではないが、製造上の観点から、通常、 0.10 mm 以上 0.50 mm 以下であり、 0.015 mm 以上 0.50 mm 以下がより好ましい。磁気特性と生産性のバランスの観点からは、 0.015 mm 以上 0.35 mm 以下が好ましい。

【0051】

(電磁鋼板の用途)

本発明の電磁鋼板は、電気機器に用いられるサーボモータ、ステッピングモータ、電気機器のコンプレッサ、産業用途に使用されるモータ、電気自動車、ハイブリッドカー、電車の駆動モータ、様々な用途で使用される発電機や鉄心、チョークコイル、リアクトル、電流センサー等、電磁鋼板が用いられている従来公知の用途にいずれも好適に適用でき、特に高強度が求められる用途(例えば、電気自動車のモータ等)により好適に用いることができる。

30

【0052】

[無方向性電磁鋼板の製造方法]

本発明に係る電磁鋼板の製造方法は、
- 変態系であり、少なくとも、Si: 2.0 質量% 以上 4.0 質量% 以下、又は Al: 0.6 質量% 以上 3.0 質量% 以下を含有し、
Fe を主成分とするインゴットを熱延板とする熱間圧延工程と、

40

前記熱延板を冷延鋼板とする冷間圧延工程と、

前記冷延鋼板を仕上焼鈍する工程を有し、

前記熱間圧延工程と、前記冷間圧延工程との間に焼鈍工程を有しないことを特徴とする。

【0053】

本発明の製造方法によれば、前記本発明に係る高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板を製造することができる。

本発明の製造方法は、少なくとも熱間圧延工程と、冷間圧延工程と、仕上焼鈍工程とを有するものであり、本発明の効果を損なわない範囲で、更に他の工程を有していてもよいものである。

50

以下、このような本発明の製造方法における各工程について説明する。なお、インゴットの組成は、前記本発明の電磁鋼板の組成と同様であるため、説明は省略する。

【0054】

(熱間圧延工程)

Si: 2.0質量%以上4.0質量%以下、又は、Al: 0.6質量%以上3.0質量%以下を含有し、残部: Feおよび不可避不純物からなるインゴットを熱間圧延して、熱延板とする工程である。

【0055】

当該熱間圧延工程により得られる熱延板は、上記特定の組成を有すれば、特に限定されないが、中でも、下記(1)~(4)のうち1つ以上を満たすことが好ましい。

10

【0056】

(1)熱延板のビッカース硬度

上記熱延板は、ビッカース硬度が200HV以上であることが好ましい。ビッカース硬度が200HV未満では、ひずみが十分ではないために{100}<011>を十分に集積させられない。{100}<011>を集積させるためには冷延圧下率を97%以上とする必要があり、製造が困難になる。好ましくは230HV以上である。

【0057】

(2)熱延板表層の転位密度

熱延板表層の転位密度は $2 \times 10^{15} / m^2$ 以上であることが好ましい。転位密度が $2 \times 10^{15} / m^2$ 未満では、ひずみが十分ではないため、{100}<011>を十分に集積させられない。{100}<011>を集積させるためには冷延圧下率を97%以上とする必要があり、製造が困難になる。ここで熱延板表層とは最表面から20 μm 以上1/4t以下の任意の位置とする。転位密度の測定はエッチピット法や透過型電子顕微鏡による観察などを行うことが出来る。

20

【0058】

(3)熱延板表層の結晶粒径

熱延板表層の平均結晶粒径は30 μm 以下であることが好ましい。平均結晶粒径が30 μm 超では熱延後の再結晶が過剰に起こっており、ひずみが解放されてしまっているため{100}<011>を十分に集積させられない。{100}<011>を集積させるためには冷延圧下率を97%以上とする必要があり、製造が困難になる。好ましくは25 μm 以下、より好ましくは加工組織である。ここで熱延板表層とは最表面から20 μm 以上1/4t以下の任意の位置とする。平均結晶粒径は線分法によって求めることができる。なお、本発明において加工組織とは、結晶粒ではなく繊維状の組織を形成していることを示す。

30

【0059】

(4)熱延板の再結晶率

また、本発明においては、熱延板が完全に再結晶していないこと、即ち、下記式(1)で示される、熱延板の再結晶率は90%以下であることが好ましい。熱延板が完全に再結晶してしまうと、ひずみが解放されてしまっているため、冷延および焼鈍後に{100}<011>を十分に集積させられない。本発明においては、{100}<011>を十分に集積する点から、熱延板の再結晶率が、90%以下であることが好ましく、80%以下であることがより好ましく、50%以下であることが更に好ましく、20%以下であることが更に好ましい。また、熱延板の再結晶率が0(ゼロ)%の完全未再結晶組織(完全加工組織)であってもよい。

40

ここで再結晶率は熱延板の圧延面に垂直な任意の断面から求める。観察視野は少なくとも板厚全体×長さ5mmの領域とする。合計が板厚全体×長さ5mm以上となるように複数の観察視野を用いてもよい。

$$\text{再結晶率}(\%) = (\text{再結晶粒の面積の合計}) \div (\text{観察視野全体の面積}) \times 100$$

・・・(式1)

【0060】

50

また、本発明においては、 $\{100\} \langle 011 \rangle$ を十分に集積する点から、上記(3)熱延板表層の結晶粒径と、上記(4)熱延板の再結晶率が、以下の関係を有することが好ましい。

再結晶率が80%超100%以下の場合には、再結晶粒の粒径は15 μm 以下が好ましい。

再結晶率が50%超80%以下の場合には、再結晶粒の粒径は20 μm 以下が好ましい。

再結晶率が20%超50%以下の場合には、再結晶粒の粒径は25 μm 以下が好ましい。

再結晶率が20%以下の場合には、再結晶粒の粒径は40 μm 以下が好ましく、30 μm 以下がより好ましい。

【0061】

本発明においては熱間圧延の条件は特に限定されず、上記熱延板の性質を満たすように適宜調整すればよい。

具体的には、例えば、上記の組成を有する溶鋼を鑄造で厚さ50mm以上の鋼片に凝固させ、その後、熱延工程において粗圧延および仕上げ圧延を行う。熱間圧延工程においてピッカーズ硬度を200HV以上にするために、例えば圧延中に再結晶が生じにくいフェライト域圧延などがある。また相変態を生じるような温度域で仕上げ圧延を行った場合には、圧延直後から3sec以内に冷却速度200 / sec以上で急冷することにより、熱間圧延後のオーステナイト相の再結晶を抑制して、加工オーステナイトからフェライトへ変態させてひずみを蓄積してもよい。

【0062】

本発明においては、変態系の鋼板を用いているため、粒界の移動速度が著しく遅く、熱間圧延工程における仕上げ圧延において、仕上げ温度が、熱延板のT2超であっても加工オーステナイトが維持される。但し、仕上げ温度が、熱延板のT2超である場合には、次いで、T2超の前記熱延板を、3sec以内に200 / sec以上の冷却速度で250以下まで冷却する冷却工程を設ける必要がある。当該冷却工程を設けることにより、得られる電磁鋼板の鉄損を低減することができる。3sec以内に冷却することにより、オーステナイトの再結晶を抑制して、熱延板のひずみを維持することができる。

【0063】

また、前記仕上げ圧延後の熱延板の鋼板表層における $\{110\} \langle 223 \rangle$ のX線ランダム強度比が3以上であり、 $\{332\} \langle 243 \rangle$ が0.5以下であり、 $\{112\} \langle 111 \rangle$ が2以上であり $\{223\} \langle 122 \rangle$ が1以下であり、仕上げ圧延後の熱延板の1/2t位置における $\{100\} \langle 011 \rangle$ のX線ランダム強度比が $\{311\} \langle 011 \rangle$ のX線ランダム強度比より小さいことが、磁気特性と強度に優れた電磁鋼板が得られる点から好ましい。 $\{332\} \langle 243 \rangle$ が0.5以下、かつ、 $\{223\} \langle 122 \rangle$ が1以下である熱延板は、歪が蓄積されており、冷延および焼鈍後に $\{100\} \langle 011 \rangle$ が十分に集積されるため、本発明に係る電磁鋼板を製造しやすい。

【0064】

本発明においては、前記熱間圧延工程と、後述する冷間圧延工程との間に焼鈍工程を有しないことを特徴とする。即ち本発明においては、従来一般に行われる熱延板焼鈍工程を有しない。当該焼鈍工程を有しないことにより、上記熱延板のX線ランダム強度比を維持することができ、その結果、 $\{100\} \langle 011 \rangle$ のX線ランダム強度比が30以上200以下である電磁鋼板を製造することができる。

【0065】

(冷間圧延工程)

冷間圧延工程は、特に限定されず、従来公知の電磁鋼板の製造方法における冷間圧延工程を適宜採用することができる。例えば、リバース圧延方式、タンデム圧延方式等、いずれの圧延方式を用いてもよい。本発明においては、冷間圧下率を88%以上とすることができ、得られる電磁鋼板の $\{100\} \langle 011 \rangle$ 成分が増加し、高い磁束密度かつ高周波領域で低鉄損であり、さらに高強度となる電磁鋼板が得られる点から好ましく、延圧下率を90%以上であることがより好ましい。

10

20

30

40

50

【0066】

(仕上焼鈍工程)

冷間圧延工程に行われる仕上焼鈍工程は、特に限定されないが、鋼板内の{100}<011>成分を維持しながら、高強度を得るために、相と相の二相領域で行うことが好ましい。仕上焼鈍を相と相の二相領域で行うためには、仕上焼鈍の保持温度Tが、 $T_1 < T < T_2$ を満たすように設定すればよい。

また、特に{100}<011>成分を維持する点からは、仕上焼鈍の保持温度をT()としたときに、 $T = (T_1 + T_2) / 2$ を満たすことが好ましい。

また、仕上焼鈍工程における温度保持時間は、10秒以上240時間以下が好ましい。240時間を超えて長時間保持しても磁気特性は飽和するからである。微細組織が粗大化してしまう。

10

【0067】

仕上焼鈍後の冷却方法は特に限定されないが、保持温度TからT₁までの冷却速度が、3 / s以上600 / s以下であることが、鋼板内の{100}<011>成分を維持する点から好ましく、更に、T₁が400 超である場合には、保持温度TからT₁までの冷却速度をV₁、T₁から400 以下までの冷却速度をV₂としたときにV₁>V₂であることがより好ましい。

【実施例】

【0068】

以下で説明する実施例での条件は、本発明の実施可能性および効果を確認するために採用した一条件例であり、本発明はこの一条件例に限定されるものではない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

20

【0069】

(実施例：電磁鋼板の製造)

真空溶解炉で表1の鋼種A～Pに示す成分組成に調整したインゴットをそれぞれ鑄造する。得られるインゴットを用い、表2に従って、電磁鋼板を製造する。具体的には、インゴットを表2に記載の仕上げ圧延温度まで加熱して熱間圧延し、熱間圧延の最終パスを出てから冷却開始までの時間を特定時間設けた後、表2の冷却速度で250 以下まで冷却して、表2に示されるように、それぞれ厚さ2.5～3.0mmの熱延板を得る。このようにして得られる熱延板に熱延板焼鈍をせずに、冷間圧延を行い、表2に記載の厚さを有する冷延板とする。次いで窒素雰囲気中で表2に示される温度条件で再結晶焼鈍(仕上焼鈍)を施す。

30

得られる焼鈍板の集合組織はX線回折法で評価する。磁気特性はSST(Single Sheet Tester)を用いて、5000A/mの磁化力に対する磁束密度B₅₀を求める。この時、測定周波数は50Hzとする。SST用の試験片は圧延方向に対して45°方向に採取する。ピッカース硬度は熱延板の圧延面から25μmの位置を鏡面研磨し、マイクロピッカース硬度試験機によって、荷重98mN、保持時間10secとし、10点測定してその平均値をその試験片のピッカース硬度とする。また、熱延板の再結晶率は、光学顕微鏡写真から、再結晶粒の面積の合計を求め、前記式1から算出する。

40

製品板(電磁鋼板)の表層における粒界の種類および長さはSEM-EBSDによって求める。製品板の板面を研磨し、さらに電解研磨し、EBSD-OIM法を用いて、倍率500倍、200μm×500μmエリア、測定ステップ0.5μmの測定条件で3視野ずつ測定する。

また熱延板と、得られた電磁鋼板をX線回折により測定し、結晶方位分布関数から、X線ランダム強度比を求める。

更に得られた電磁鋼板の磁束密度及び引張強度を測定する。

本発明において磁束密度は、JIS C 2556に記載の電磁鋼板単板磁気特性試験方法に準拠して測定することができ、本発明においては、5000A/mの磁場における磁束密度を測定する。

50

また、引張強度については圧延方向に J I S Z 2 2 0 1 に記載の 5 号引張試験片を採取し、J I S Z 2 2 4 1 に記載の試験方法にしたがって、引張試験を行い、引張強度を評価する。結果を表 3 に示す。

なお、表 2 中の熱延板粒径の欄に記載の加工組織とは、図 1 の例に示されるように、結晶粒ではなく繊維状の組織を形成していることを示す。

【 0 0 7 0 】

【表 1】

表 1

鋼種	C [ppm]	Si [%]	Mn [%]	Ni [%]	Al [%]	変態点 T1[°C]	T2[°C]
A	11	2.100	3.000	0.500	0.003	945	968
B	9	2.000	6.000	0.003	0.003	732	816
C	12	3.000	3.000	3.000	0.003	905	923
D	13	4.000	2.000	3.000	0.003	1047	1069
E	20	1.500	3.200	0.003	0.003	684	737
F	8	4.000	2.000	0.200	0.003	-	-
G	9	4.500	2.500	4.000	0.003	1114	1136
H	35	0.200	3.200	0.003	1.200	1008	1019
I	10	0.150	0.003	4.500	3.000	993	1010
J	11	0.500	2.800	0.003	0.500	576	639
K	23	0.500	0.500	3.500	3.500	1106	1111
L	18	0.500	2.000	0.003	2.800	-	-
M	16	2.500	2.500	2.500	1.500	-	-
N	5	0.500	0.500	6.000	3.000	907	945
O	21	2.500	3.000	2.000	1.500	881	902
P	17	1.800	3.000	3.000	0.003	104	195
Q	17	2.500	3.000	1.000	0.300	958	971

*「-」(ハイフン)は変態点を有さず、 α - γ 変態系ではないことを示す。

【 0 0 7 1 】

10

20

【 表 2 】

鋼種	仕上げ 圧延温度 [°C]	冷却開始 までの時 間 [sec]	冷却速度 [°C/sec]	熱延板の 板厚 [mm]	熱延板の ビッカース 硬度 [HV]	熱延板の 転位密度 [$\times 10^{15}/m^2$]	熱延板粒 径 [μm]	熱延板の 再結晶率 [%]	熱延板の 板厚 [mm]	冷延 圧下率 [%]	焼鈍温度 [°C]	(T1+T2)/2	保持時間 [sec]	Tから T1までの 冷却速度 V1	400°C以 下の冷却 速度 V2	備考
A	979	2	250	2.3	223	3.5	18	84	0.20	91	948	957	100	10	5	実施例 1
B	878	2	250	2.3	314	3.2	24	65	0.20	91	750	774	100	10	5	実施例 2
C	956	2	250	2.3	296	2.9	28	19	0.20	91	911	914	100	10	5	実施例 3
D	1094	2	250	2.3	356	2.6	19	32	0.20	91	1052	1058	100	10	5	実施例 4
E	781	2	250	2.3	184	1.8	52	95	0.20	91	707	711	600	50	10	比較例 1
F	1012	2	400	1.8	165	0.9	67	100	0.20	89	990	-	15	-	10	比較例 2
G	1157	2	400	3	188	1.6	186	93	0.25	92	1121	1125	15	50	10	比較例 3
H	1035	2	400	3	219	2.9	22	56	0.25	92	1000	1014	15	100	80	実施例 5
I	1028	2	400	3	277	2.7	17	84	0.25	92	1000	1002	15	100	80	実施例 6
J	754	2	600	3	190	1.3	105	97	0.25	92	580	608	200	3	2	比較例 4
K	1153	2	600	3	167	0.9	231	93	0.25	92	1108	1109	10	500	500	比較例 5
L	1042	2	600	3	182	1.4	76	100	0.25	92	995	-	10	-	500	比較例 6
M	924	2	600	4	188	2.6	42	95	0.35	91	416	-	2400	-	10	比較例 7
N	989	2	600	4	343	3.1	27	85	0.35	91	921	926	15	500	100	実施例 7
O	1008	2	600	4	317	4.2	18	62	0.35	91	890	892	15	500	120	実施例 8
P	116	2	600	4	193	1.1	42	94	0.35	91	122	150	240	3	5	比較例 8
Q	988	2	600	4	225	2.5	8	47	0.35	91	961	965	30	50	30	実施例 9
A	979	2	250	2.3	223	3.1	18	84	0.20	91	962	957	100	10	5	比較例 9
A	979	5	250	2.3	206	3.4	26	92	0.20	91	948	957	100	10	5	比較例 10
A	979	1	300	2.3	287	2.8	19	15	0.20	91	948	957	15	500	100	実施例 10
A	979	0.05	400	2.3	324	3.0	加工組織	0	0.20	91	948	957	30	500	10	実施例 11
A	979	0.5	250	2.3	267	2.8	15	51	0.20	91	948	957	100	10	50	実施例 12
A	979	0.5	600	2.3	312	4.2	加工組織	0	0.20	91	948	957	100	10	50	実施例 13
A	979	2	250	2.3	223	3.1	18	84	0.20	91	948	957	3	10	5	比較例 11
I	1028	27	400	3	188	0.9	56	89	0.30	90	1000	1002	15	100	80	比較例 12
I	1028	0.8	300	3	301	3.4	24	23	0.30	90	1000	1002	15	100	80	実施例 14
I	1028	3	600	2.5	297	3.0	18	56	0.27	89	1000	1002	30	500	10	実施例 15
I	1028	1	10	3	194	1.4	89	76	0.30	90	1000	1002	15	100	80	比較例 13
I	1028	1	300	3	298	3.0	19	38	0.30	90	1000	1002	15	100	80	実施例 16
I	1028	1	300	3	298	3.0	19	38	0.30	90	1008	1002	15	100	80	比較例 14
I	1028	1	300	3	298	3.0	19	38	0.30	90	1000	1002	1000000	600	300	比較例 15
I	1028	1	300	3	298	3.0	19	38	0.30	90	1000	1002	10	2	5	比較例 16
I	1028	1	300	3	298	3.0	19	38	0.30	90	1000	1002	100	100	600	比較例 17
Q	966	0.5	600	2.5	248	2.7	16	15	0.25	90	961	965	30	250	100	実施例 17
Q	966	12	250	2.5	223	2.5	27	46	0.25	90	960	965	30	250	100	実施例 18
Q	843	2	300	2.5	276	2.8	加工組織	0	0.25	90	961	965	30	250	100	比較例 18
Q	961	2	300	2.5	215	2.2	17	29	0.25	90	961	965	30	250	100	比較例 19
Q	966	0.5	600	2.5	248	2.7	16	15	0.25	90	975	965	15	250	100	実施例 19
Q	966	0.5	600	2.5	248	2.7	16	15	0.25	90	960	965	1200	250	100	実施例 20
Q	966	0.5	600	2.5	248	2.7	16	15	0.25	90	960	965	15	10	8	実施例 21
Q	966	0.5	600	2.5	248	2.7	16	15	0.25	90	960	965	15	500	3	比較例 20

10

20

30

40

表2

【 0 0 7 2 】

【 表 3 】

表3

細種	[100]<011>	[111]<112>	15μm超の 結晶粒の面 積率 [%]	微細粒の面 積率 [%]	微細粒と接している 15μm超の粒の数の 割合 [%]	B50(45°) [T]	W15/50 [W/kg]	W10/800 [W/kg]	引張強度 [MPa]	熱延板 表面層 [110]<223>	熱延板 表面層 [332]<243>	熱延板 表面層 [112]<111>	熱延板 表面層 [223]<122>	熱延板 1/2t [100]<011>	熱延板 1/2t [311]<011>	備考
A	88	1	96	4	87	1.82	1.7	24	667	6.5	0.3	3.4	0.8	2.5	3.4	実施例 1
B	65	1	97	2	81	1.79	2.0	26	701	7.0	0.2	5.8	0.4	1.7	2.9	実施例 2
C	112	2	96	2	85	1.80	1.8	24	684	5.8	0.2	2.9	0.6	3.3	4.6	実施例 3
D	67	1	96	3	97	1.76	2.2	23	688	9.3	0.3	6.1	0.9	6.8	7.9	実施例 4
E	11	10	85	8	67	1.61	2.6	25	523	1.8	1.0	1.8	1.7	4.2	3.1	比較例 1
F	8	9	84	10	74	1.60	3.0	26	600	0.9	2.7	0.6	2.8	0.9	1.6	比較例 2
G	16	12	90	10	72	1.63	2.7	31	557	2.2	1.8	1.2	1.9	2.6	8.8	比較例 3
H	38	2	98	2	88	1.74	2.1	32	664	10.3	0.4	6.5	0.4	12.1	15.9	実施例 5
I	57	2	97	3	92	1.79	2.3	30	681	8.5	0.4	12.4	0.3	6.4	10.7	実施例 6
J	6	15	72	18	77	1.61	2.2	31	593	2.6	0.9	1.5	6.8	1.7	1.1	比較例 4
K	14	3	88	9	60	1.59	2.4	33	614	1.9	9.6	0.8	11.5	5.8	5.5	比較例 5
L	7	7	93	7	68	1.63	2.3	30	557	1.0	1.2	1.3	4.7	3.9	5.2	比較例 6
M	6	19	91	4	75	1.62	2.6	38	622	2.2	2.5	1.9	10.6	7.1	6.1	比較例 7
N	78	1	98	2	92	1.78	2.5	40	708	12.4	0.3	8.7	0.5	0.8	4.6	実施例 7
O	198	1	99	1	95	1.84	2.4	36	743	8.8	0.4	13.1	0.6	10.6	15.8	実施例 8
P	10	7	92	6	66	1.60	2.7	42	626	1.2	11.7	1.5	5.4	6.7	2.3	比較例 8
Q	72	1	97	3	89	1.75	2.5	40	683	9.3	0.2	6.7	0.7	4.9	6.7	実施例 9
A	11	12	84	4	79	1.65	1.8	25	592	2.4	3.8	1.6	2.1	5.1	3.9	比較例 9
A	8	17	98	1	52	1.61	2.1	24	611	1.8	2.7	2.5	1.8	10.7	4.6	比較例 10
A	67	1	95	3	82	1.78	2.4	25	687	4.7	0.2	3.9	0.9	4.8	10.7	実施例 10
A	108	2	95	4	91	1.81	1.8	19	694	6.9	0.4	4.8	0.4	2.6	8.8	実施例 11
A	96	1	96	4	82	1.81	2.0	23	583	4.9	0.4	7.4	0.4	6.9	8.7	実施例 12
A	73	1	97	3	88	1.79	2.2	21	684	5.5	0.3	6.7	0.6	7.8	12.4	実施例 13
A	4	8	96	0	26	1.62	1.9	26	578	3.8	4.7	1.7	4.7	1.5	3.7	比較例 11
I	25	12	81	6	23	1.61	2.5	38	566	2.4	8.7	1.6	12.4	3.8	5.3	比較例 12
I	79	1	96	2	87	1.77	2.4	35	676	6.7	0.2	5.8	0.6	2.9	6.7	実施例 14
I	66	1	95	4	83	1.80	2.2	31	683	7.5	0.3	4.9	0.8	5.3	8.9	実施例 15
I	14	19	76	1	56	1.63	2.8	36	601	2.1	4.4	1.1	8.5	4.5	3.2	比較例 13
I	93	2	97	3	84	1.79	2.2	33	669	10.7	0.3	10.7	0.3	6.7	12.3	実施例 16
I	6	13	87	3	36	1.62	2.6	37	593	1.8	2.6	0.3	6.1	5.9	2.4	比較例 14
I	22	16	100	0	0	1.60	2.9	37	602	2.0	5.7	0.8	4.8	3.8	4.7	比較例 15
I	16	7	89	6	68	1.61	2.5	36	611	1.9	4.9	1.9	9.9	7.5	6.1	比較例 16
I	9	27	90	6	75	1.63	2.8	38	589	2.7	8.3	0.4	5.1	10.8	7.4	比較例 17
Q	57	0.5	96	3	87	1.78	2.2	25	678	4.7	0.2	6.1	0.8	2.8	4.7	実施例 17
Q	83	1	95	3	91	1.80	2.4	26	691	6.2	0.1	7.9	0.5	4.9	10.8	実施例 18
Q	9	24	86	3	64	1.62	2.6	31	603	1.9	3.9	0.5	3.9	3.6	2.9	比較例 18
Q	17	11	91	5	37	1.60	2.4	27	585	0.5	4.8	4.3	5.7	2.7	3.3	比較例 19
Q	64	2	95	4	86	1.76	2.5	26	682	5.8	0.2	6.0	0.4	8.5	12.7	実施例 19
Q	88	2	89	4	92	1.77	2.6	23	669	7.9	0.4	8.2	0.8	5.9	8.4	実施例 20
Q	59	1	83	0	88	1.80	2.8	24	683	8.3	0.4	9.4	0.3	6.3	11.6	実施例 21
Q	7	14	98	0	75	1.60	3.0	27	584	2.4	6.5	1.4	7.2	2.2	2.7	比較例 20

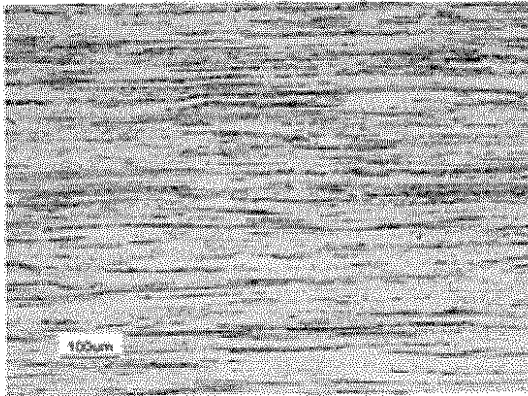
【 0 0 7 3 】

[結果のまとめ]

表 2 ~ 3 に示される通り、 - 変態系であり、少なくとも、S i : 2 . 0 質量 % 以上 4 . 0 質量 % 以下、又は A l : 0 . 6 質量 % 以上 3 . 0 質量 % 以下を含有し、F e を主成分とする鋼板であって、前記鋼板板面における { 1 0 0 } < 0 1 1 > の X 線ランダム強度比が 3 0 以上 4 0 0 以下である、実施例 1 ~ 2 1 の電磁鋼板は、いずれも磁束密度 B 5 0 が 1 . 7 を超えており、比較例 1 ~ 2 0 と比較して、磁気特性に優れていると共に、いずれの実施例も引張強度に優れていることが明らかとなった。

【 図 1 】

実施例 (加工組織)



フロントページの続き

Fターム(参考) 4K033 AA01 CA09 DA01 FA01 FA03 HA02 KA00 KA02 RA03 SA03
5E041 AA02 AA03 BD09 CA04 HB11 HB15 NN01 NN06 NN18