

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6676952号
(P6676952)

(45) 発行日 令和2年4月8日 (2020. 4. 8)

(24) 登録日 令和2年3月17日 (2020. 3. 17)

(51) Int. Cl.

F 1

C 2 2 C 38/00 (2006. 01)
C 2 1 D 8/12 (2006. 01)
C 2 1 D 9/46 (2006. 01)
C 2 2 C 38/06 (2006. 01)
C 2 2 C 38/60 (2006. 01)

C 2 2 C 38/00 3 O 3 U
C 2 1 D 8/12 B
C 2 1 D 9/46 5 O 1 A
C 2 2 C 38/06
C 2 2 C 38/60

請求項の数 10 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-245612 (P2015-245612)
(22) 出願日 平成27年12月16日 (2015. 12. 16)
(65) 公開番号 特開2017-110263 (P2017-110263A)
(43) 公開日 平成29年6月22日 (2017. 6. 22)
審査請求日 平成30年8月3日 (2018. 8. 3)

(73) 特許権者 000006655
日本製鉄株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(74) 代理人 100101203
弁理士 山下 昭彦
(74) 代理人 100104499
弁理士 岸本 達人
(74) 代理人 100129838
弁理士 山本 典輝
(72) 発明者 山縣 龍太郎
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 田中 一郎
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】 一方向性電磁鋼板用熱延板およびその製造方法、ならびにその一方向性電磁鋼板の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、C : 0. 1 % 以下、S i : 2. 5 ~ 4. 0 %、M n : 0. 0 5 ~ 0. 1 %、
S : 0. 0 1 ~ 0. 0 4 %、A l : 0. 0 1 ~ 0. 0 5 %、および N : 0. 0 0 1 ~ 0. 0 3 0 % を含有し、残部が F e および不可避免的不純物からなる一方向性電磁鋼板用熱延板であって、

板厚 1 / 5 層 ~ 中心の中心領域における結晶粒の平均粒径に対する板厚 1 / 1 0 ~ 1 / 5 層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径の比が 1. 1 0 以上であり、

板厚 1 / 5 層 ~ 中心の中心領域における M n S の平均粒径に対する板厚 1 / 1 0 ~ 1 / 5 層の表面近傍領域における M n S の平均粒径の比が 1. 1 0 以上であり、

板厚 1 / 1 0 ~ 1 / 5 層の表面近傍領域における M n S の分布密度に対する板厚 1 / 5 層 ~ 中心の中心領域における M n S の分布密度の比が 1. 1 0 以上であることを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板。

【請求項 2】

前記 F e の一部に代えて、質量%で、B i、P b、A s、および T e からなる群から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0. 0 0 0 2 % 以上 0. 0 2 % 以下、ならびに S b、S n、および P からなる群から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0. 0 0 0 4 % 以上 0. 5 % 以下を含有することを特徴とする請求項 1 に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板を製造する方法であって、

質量%で、C：0.1%以下、Si：2.5～4.0%、Mn：0.05～0.1%、S：0.01～0.04%、Al：0.01～0.05%、およびN：0.001～0.030%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる鋳片に熱間圧延を施す熱間圧延工程において、表面温度 T_s 1100～1200℃および板厚中心温度 T_c 1000～1100℃が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に施される圧延の真歪みを、前記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とすることを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法。

【請求項4】

前記熱間圧延工程において、表面温度にして900℃以下まで冷却した前記鋳片を、雰囲気温度が1200℃以上の加熱炉に装入して、装入後1時間以内に前記加熱炉から抽出した前記鋳片に前記熱間圧延を施すことを特徴とする請求項3に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法。

10

【請求項5】

前記熱間圧延工程において、圧延後の鋼板を表面温度 T_s にして1100℃以上から600～750℃以下まで $2^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上の平均冷却速度で冷却して600～750℃の温度域に0s～300s保持した後に、前記圧延後の鋼板を表面温度 T_s にして1100℃以上1150℃以下の温度まで加熱した後さらに圧延を施すことを特徴とする請求項3または請求項4に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法。

【請求項6】

前記熱間圧延工程において、前記鋳片を表面温度にして1250～1400℃に加熱した後に、前記加熱後の鋳片に前記熱間圧延を施すことを特徴とする請求項3から請求項5までのいずれかに記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法。

20

【請求項7】

前記鋳片が、前記Feの一部に代えて、質量%で、Bi、Pb、As、およびTeからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で0.0002%以上0.02%以下、ならびにSb、Sn、およびPからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で0.0004%以上0.5%以下をさらに含有することを特徴とする請求項3から請求項6までのいずれかに記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法。

【請求項8】

請求項3から請求項7までのいずれかに記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法を行って一方向性電磁鋼板用熱延板を製造する熱延板製造工程と、

30

前記一方向性電磁鋼板用熱延板に熱延板焼鈍を施す熱延板焼鈍工程と、

前記熱延板焼鈍後の鋼板に冷間圧延を施す冷間圧延工程と、

前記冷間圧延後の鋼板に脱炭焼鈍を施す脱炭焼鈍工程と、

前記脱炭焼鈍後の鋼板に仕上げ焼鈍を施す仕上げ焼鈍工程と

を有することを特徴とする一方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項9】

前記熱延板焼鈍工程において、前記一方向性電磁鋼板用熱延板を900～1050℃の温度域に60s以上保持する熱延板焼鈍を施すことを特徴とする請求項8に記載の一方向性電磁鋼板の製造方法。

40

【請求項10】

前記脱炭焼鈍工程において、前記冷間圧延後の鋼板を、350℃以下の温度から700℃以上850℃以下の温度まで昇温する昇温過程において $100^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上の昇温速度で加熱した後に、前記冷間圧延後の鋼板に前記脱炭焼鈍を施すことを特徴とする請求項8または請求項9に記載の一方向性電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、変圧器の鉄心材料に使用される一方向性電磁鋼板を製造するために用いられる析出物が制御された一方向性電磁鋼板用熱延板およびその製造方法、ならびにその一方

50

向性電磁鋼板の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一方向性電磁鋼板は変圧器の鉄心材料として使用される。一方向性電磁鋼板は、磁化される方向に高い磁束密度を持つことが求められるので、二次再結晶を利用してGossと呼ばれる磁気特性に優れた結晶方位を選択的に成長させて製造する機能材料である。

【0003】

近年変圧器のエネルギー効率の向上のため、一方向性電磁鋼板の鉄損をさらに低減させることが求められている。一方向性電磁鋼板は板厚を薄くすると鉄損が低減できるので、薄手の一方向性電磁鋼板が求められるようになっている。

10

【0004】

一方向性電磁鋼板の鉄損を下げるためには、二次再結晶の発現機構に関連するインヒビターとなる析出物を適切に制御して、Goss集積度の高い二次再結晶組織を得て、磁束密度を向上させなければならない。インヒビターとして用いられる析出物は、一般的には硫化物(MnS等)や窒化物(AlN等)が知られている。インヒビター制御に関する研究は従来から行われているが、MnSを完全溶体化させた後、インヒビターとしてMnSを微細析出させる熱間圧延工程は、二次再結晶組織を安定化させて高磁束密度の一方向性電磁鋼板を製造することを実現する上で重要なプロセスである。また、熱間圧延工程により得られる熱延板に析出するMnSは、続く熱延板焼鈍でのAlNの析出サイトとなり、AlNとともに、冷間圧延後の鋼板にさらに続く脱炭焼鈍を行うことにより得られる一次再結晶粒の粒径を決定する。このため、熱延板に析出するMnSは、直接的または間接的に二次再結晶の挙動を支配する。

20

【0005】

また、二次再結晶は、仕上げ焼鈍中雰囲気の影響を受けやすい鋼板表面近傍で、AlNの酸化などによるインヒビター強度の低下を起点として開始するが、板厚が薄くなると仕上げ焼鈍中雰囲気の影響を受ける板厚方向の領域の割合が大きくなる。そのため、板厚が薄いほどAlNインヒビターの酸化によるインヒビター強度の低下は急速に起こるようになり、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性が弱くなるので、正常粒成長や首振りGossの優先成長が発生しやすくなり、二次再結晶が不安定になる。さらに、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性が弱くなる他の理由としては、Goss

30

【0006】

したがって、二次再結晶組織を安定化させて高磁束密度の一方向性電磁鋼板を製造することを実現する上では、二次再結晶時において鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性をさらに高めるために、インヒビター制御や結晶粒径の制御といった一次再結晶集合組織の制御を行う必要がある。そして、このような一次再結晶集合組織の制御を行うためには、熱間圧延工程の条件を制御すればよい。

【0007】

熱間圧延工程の条件を制御する技術としては、例えば、特許文献1～4に開示された技術が知られている。特許文献1に開示された技術では、析出物の完全溶体化後の一方向性電磁鋼板用鋳片の熱延工程について温度および時間の条件を特定しており、徐冷却を特徴とする熱延工程によって、インヒビターとして用いられるMnSを高い分布密度で均一に微細粒として析出させて、磁気特性を向上させるものである。しかしながら、この技術では、特に薄手材で生ずる二次再結晶の不均一さを解消することはできない。

40

【0008】

また、特許文献2に開示された技術では、スラブをいったん冷却後再加熱し、再加熱後のスラブに熱間圧延を施している。しかしながら、この技術は、鋼板の表面性状の改善の効果が得られるものの、二次再結晶組織を安定化させるために、インヒビター制御や結晶粒径の制御といった一次再結晶集合組織の制御を行うものではない。

50

【0009】

また、特許文献3に開示された技術では、スラブを加熱して熱間圧延した後に再加熱し、再加熱後の鋼板を再度熱間圧延する熱間圧延工程において、圧延温度およびパス間時間を規定している。しかしながら、この技術は、超高珪素鋼を製造する場合に、熱間圧延工程において耳割れを生じさせないことを目的とするものであり、珪素濃度が3質量%前後の鋼において二次再結晶組織を安定化させるために、インヒビター制御や結晶粒径の制御といった一次再結晶集合組織の制御を行うものではない。

【0010】

また、特許文献4に開示された技術では、スラブを加熱して熱間圧延した後に再加熱し、再加熱後の鋼板を再度熱間圧延することによって、結晶粒径の制御を行っている。しかしながら、この技術では、最初の熱間圧延後の再加熱時に、析出物の容体化が行われているので、二次再結晶組織を安定化させるといった効果が得られない。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開昭48-69720号公報

【特許文献2】特開平5-179347号公報

【特許文献3】特開平6-150162号公報

【特許文献4】特開昭48-53919号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、変圧器の効率を向上させる鉄心材料に使用される薄手の一方向性電磁鋼板において二次再結晶組織を安定化させることができるように、熱間圧延工程においてインヒビター制御や結晶粒径の制御を行った一方向性電磁鋼板用熱延板およびその製造方法、ならびにその一方向性電磁鋼板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】

【0013】

本発明者らは、上記課題を解決すべく、薄手の一方向性電磁鋼板において不均一な二次再結晶が発現する原因を調査した。その結果、二次再結晶での優先成長性は、一次再結晶完了時に粒径が大きい方位粒で高まることから、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を安定化させるためには、一次再結晶完了時点において、表面近傍領域におけるGoss方位粒を含む結晶粒の平均粒径を中心領域よりも粗大化させておき、二次再結晶時に鋼板表面近傍におけるインヒビター強度の低下が急速に起こったとしても、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を維持させることが有効であることが分かった。

30

【0014】

そして、一次再結晶完了時点において、表面近傍領域におけるGoss方位粒を含む結晶粒の平均粒径を中心領域よりも粗大化させておくことができるような熱延板および熱間圧延の条件を検討した結果、表面近傍領域における結晶粒の平均粒径が中心領域よりも大きい熱延板、および鋼板の表面近傍領域の温度が中心領域の温度よりも高い条件下で熱間圧延の全部または一部を施すことが、実用的に適用可能であるとの知見を得た。

40

【0015】

本発明はこれらの知見を基になされたものであり、その要旨は、質量%で、C:0.1%以下、Si:2.5~4.0%、Mn:0.05~0.1%、S:0.01~0.04%、Al:0.01~0.05%、およびN:0.001~0.030%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる一方向性電磁鋼板用熱延板であって、板厚1/5層~中心の中心領域における結晶粒の平均粒径に対する板厚1/10~1/5層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径の比が1.10以上であることを特徴とする一方向性電磁

50

鋼板用熱延板である。

【0016】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板であって、板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域におけるMnSの平均粒径に対する板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域におけるMnSの平均粒径の比が 1.10 以上であることを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板である。

【0017】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板であって、板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域におけるMnSの分布密度に対する板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域におけるMnSの分布密度の比が 1.10 以上であることを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板である。

10

【0018】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板であって、上記Feの一部に代えて、質量%で、Bi、Pb、As、およびTeからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で 0.0002% 以上 0.02% 以下、ならびにSb、Sn、およびPからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で 0.0004% 以上 0.5% 以下を含有することを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板である。

【0019】

また、他の要旨は、質量%で、C： 0.1% 以下、Si： $2.5 \sim 4.0\%$ 、Mn： $0.05 \sim 0.1\%$ 、S： $0.01 \sim 0.04\%$ 、Al： $0.01 \sim 0.05\%$ 、およびN： $0.001 \sim 0.030\%$ を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる鑄片に熱間圧延を施す熱間圧延工程において、表面温度 $T_{s1100} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ および板厚中心温度 $T_{c1000} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^{\circ}\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に施される圧延の真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの 40% 以上とすることを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法である。

20

【0020】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法であって、上記熱間圧延工程において、表面温度にして 900°C 以下まで冷却した上記鑄片を、雰囲気温度が 1200°C 以上の加熱炉に装入して、装入後1時間以内に上記加熱炉から抽出した上記鑄片に上記熱間圧延を施すことを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法である。

30

【0021】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法であって、上記熱間圧延工程において、圧延後の鋼板を表面温度 T_s にして 1100°C 以上から $600 \sim 750^{\circ}\text{C}$ 以下まで $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上の平均冷却速度で冷却して $600 \sim 750^{\circ}\text{C}$ の温度域に $0 \text{ s} \sim 300 \text{ s}$ 保持した後に、上記圧延後の鋼板を表面温度 T_s にして 1100°C 以上 1150°C 以下の温度まで加熱した後さらに圧延を施すことを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法である。

【0022】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法であって、上記熱間圧延工程において、上記鑄片を表面温度にして $1250 \sim 1400^{\circ}\text{C}$ に加熱した後に、上記加熱後の鑄片に上記熱間圧延を施すことを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法である。

40

【0023】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法であって、上記鑄片が、上記Feの一部に代えて、質量%で、Bi、Pb、As、およびTeからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で 0.0002% 以上 0.02% 以下、ならびにSb、Sn、およびPからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で 0.0004% 以上 0.5% 以下をさらに含有することを特徴とする一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法である。

【0024】

50

さらに、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法を行って一方向性電磁鋼板用熱延板を製造する熱延板製造工程と、上記一方向性電磁鋼板用熱延板に熱延板焼鈍を施す熱延板焼鈍工程と、上記熱延板焼鈍後の鋼板に冷間圧延を施す冷間圧延工程と、上記冷間圧延後の鋼板に脱炭焼鈍を施す脱炭焼鈍工程と、上記脱炭焼鈍後の鋼板に仕上げ焼鈍を施す仕上げ焼鈍工程とを有することを特徴とする一方向性電磁鋼板の製造方法である。

【0025】

また、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板の製造方法であって、上記熱延板焼鈍工程において、上記一方向性電磁鋼板用熱延板を900～1050℃の温度域に60s以上保持する熱延板焼鈍を施すことを特徴とする一方向性電磁鋼板の製造方法である。

10

【0026】

さらに、他の要旨は、上述の一方向性電磁鋼板の製造方法であって、上記脱炭焼鈍工程において、上記冷間圧延後の鋼板を、350℃以下の温度から700℃以上850℃以下の温度まで昇温する昇温過程において100℃/s以上の昇温速度で加熱した後に、上記冷間圧延後の鋼板に上記脱炭焼鈍を施すことを特徴とする一方向性電磁鋼板の製造方法である。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、均一な二次再結晶を発現させることによって磁気特性を優れたものとした薄手の超低鉄損一方向性電磁鋼板を製造するために用いられる一方向性電磁鋼板用熱延板およびその製造方法、ならびにその一方向性電磁鋼板の製造方法を提供することができる。

20

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板およびその製造方法、ならびにその一方向性電磁鋼板の製造方法について詳細に説明する。

【0029】

A. 一方向性電磁鋼板用熱延板

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板は、下記化学成分を有する一方向性電磁鋼板用熱延板であって、板厚1/5層～中心の中心領域における結晶粒の平均粒径に対する板厚1/10～1/5層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径の比が1.10以上であることを特徴とするものである。以下、本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板について詳細に説明する。

30

【0030】

1. 化学成分

以下、本発明における化学成分の限定理由について詳細に説明する。以下において、各成分の含有量は質量%での値である。

【0031】

(1) C

Cを添加すると、形成されるオーステナイト相によって熱延時のMnSの核生成、成長を制御できるため有用な元素であるが、0.1%を超えて添加されると脱炭または純化を困難にする。Cが製品板に残存した場合、磁気特性が劣化する時効現象を惹起するため、含有量の上限を0.1%とする。

40

【0032】

(2) Si

Siは、固有抵抗を高めて、鉄損を低減するのに有用な元素のため、2.5～4.0%添加する。過剰に添加した場合、熱間圧延または冷間圧延が困難になるため、含有量の上限を4.0%とする。

【0033】

(3) Mn

50

Mnは、MnSを熱間圧延中に微細析出させるために必要な元素であるため、0.05～0.1%添加する。含有量がこれより少ない場合、十分なMnSの体積率が得られず、組織制御ができなくなるため、含有量の下限を0.05%とする。また、過剰にMnを添加しても組織制御への改善効果が得られないため、含有量の上限を0.1%とする。

【0034】**(4) S**

Sは、Mnと同様に、MnSを析出させるための必須元素であるため、0.01～0.04%添加する。含有量がこれより少ない場合、十分なMnSの体積率が得られず、組織制御ができなくなるため、含有量の下限を0.01%とする。過剰に添加した場合、MnSが粗大化し易くなること、および赤熱脆化で熱延が困難になることから、含有量の上限

10

【0035】**(5) Al**

Alは、MnSを微細析出せしめる熱間圧延後の熱延板を焼鈍することで、微細MnSと地鉄との界面上に微細AlNを析出させるために必要な元素であり、一方向性電磁鋼板の磁束密度を向上させることを目的として、0.01～0.05%添加する。含有量がこれより少ない場合、AlNの有効な析出量が得られず、仕上げ焼鈍時の組織制御に寄与できず、一方向性電磁鋼板の磁束密度が向上しないため、含有量の下限を0.01%とする。また、含有量がこれより大きい場合、AlNの成長が速くなり、また熱間圧延でAlNが単独で析出しやすくなることで、AlNが比較的粗大に析出し、二次再結晶において有効なピン止め力を発揮せず、Goss方位粒の優先成長に悪影響が及んで磁束密度が低下

20

【0036】**(6) N**

Nは、Alと同様に、熱延板を焼鈍して微細AlNを析出させるのに必要な元素であり、0.001～0.030%添加する。含有量がこれより少ない場合、微細AlNの有効な析出量が得られず、仕上げ焼鈍時の組織制御に必要な粒界ピン止め力を発揮することができないから、含有量の下限を0.001%とする。また、含有量がこれより大きい場合、熱間圧延でAlNが単独析出しやすくなることで、AlNが比較的粗大に析出し、二次再結晶において有効なピン止め力を発揮せず、Goss方位粒の優先成長に悪影響が及んで磁束密度が低下するため、含有量の上限を0.030%とする。

30

【0037】**(7) その他**

Bi、Pb、As、およびTeからなる群から選ばれる1種または2種以上を、合計で0.02%以下添加し、かつSb、Sn、およびPからなる群から選ばれる1種または2種以上を、合計で0.5%以下添加することが好ましい。後述の「B. 一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法 1. 熱間圧延工程」に記載の熱間圧延工程においては、上記加熱後の鋳片の板厚中心温度が表面温度よりも低くなることにより、粒界易動度が上記加熱後の鋳片の中心領域において表面近傍領域よりも小さくなる。さらに、上述の元素の偏析により粒界の移動速度が遅くなるため、上記加熱後の鋳片の中心領域において表面近傍領域よりも結晶粒径は顕著に小さくなる。この結果、一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚1/10～1/5層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径を、板厚1/5層～中心の中心領域よりも顕著に粗大化させておくことができるので、二次再結晶時に鋼板表面近傍におけるインヒビター強度の低下が急速に起こったとしても、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を顕著に維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができるからである。

40

なお、Sn、Bi、Te、Pb、SbおよびSe、ならびにSb、Sn、およびPは、Feの一部に代えて、添加されるものである。

【0038】**(8) 残部**

50

残部はFeおよび不可避免の不純物である。不可避免の不純物のうち粒成長性に悪影響を及ぼすTi、V、Nb、Zrは極力低減することが望ましく、それぞれ0.008%以下とすることが好ましい。

【0039】

2. 結晶粒の平均粒径

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚1/5層～中心の中心領域における結晶粒の平均粒径に対する板厚1/10～1/5層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径の比は1.10以上である。これにより、一次再結晶完了時点において、表面近傍領域におけるGoss方位粒を含む結晶粒の平均粒径を中心領域よりも粗大化させておくことができるので、二次再結晶時に鋼板表面近傍におけるインヒビター強度の低下が急速に起こったとしても、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を安定化させることができる。

10

ここで、本発明において、「結晶粒の平均粒径」とは、観察された複数の結晶粒について、投影面積に対する同一面積の円の直径をそれぞれ求め、平均した値を意味する。

【0040】

板厚1/5層～中心の中心領域における結晶粒の平均粒径に対する板厚1/10～1/5層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径の比は、1.10以上であることが好ましく、中でも1.20以上であることが好ましい。鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を顕著に維持できるからである。

20

【0041】

3. 析出物

以下、MnSの析出物について詳細に説明する。

【0042】

(1) 平均粒径

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚1/5層～中心の中心領域におけるMnSの平均粒径に対する板厚1/10～1/5層の表面近傍領域におけるMnSの平均粒径の比は1.10以上であることが好ましい。MnSが表層近傍領域よりも中心領域において微細かつ高密度になることによって、表面近傍領域において一次再結晶組織をGoss方位粒の優先成長に顕著に有利な組織にし、仕上げ焼鈍時に中心領域の一次再結晶粒の成長を顕著に抑制することができるので、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を顕著に維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができるからである。

30

【0043】

ここで、本発明において、「MnSの平均粒径」とは、観察された複数のMnSについて、投影面積に対する同一面積の円の直径をそれぞれ求め、平均した値を意味する。一方向性電磁鋼板用熱延板において、MnSの総析出量が同一である場合、MnSの平均粒子径が小さいほど、MnSは高い分布密度で析出する。

【0044】

板厚1/5層～中心の中心領域におけるMnSの平均粒径に対する板厚1/10～1/5層の表面近傍領域におけるMnSの平均粒径の比は、中でも1.20以上であることが好ましく、特に1.30以上であることが好ましい。均質微細なMnSが中心領域で結晶粒成長を抑制するとともに、高温では中心領域の結晶粒成長を抑制しながら、表層近傍領域のMnSがオストワルド成長することで二次再結晶が開始し、結晶粒をさん食して進行する二次再結晶が顕著に起こりやすくなるからである。

40

【0045】

板厚1/10～1/5層の表面近傍領域におけるMnSの平均粒径は、80nm～300nmであることが好ましく、中でも80nm～200nm、特に80nm～160nmであることが好ましい。MnSがこの平均粒径にある場合、尖鋭な二次再結晶組織が得られるからである。また、板厚1/5層～中心の中心領域におけるMnSの平均粒径は、50nm～200nmであることが好ましく、中でも50nm～180nm、特に50nm

50

～120nmであることが好ましい。中心領域に微細なMnSを分散させることで、仕上げ焼鈍中の中心領域の結晶粒成長が抑制され、二次再結晶が顕著に安定化されるからである。

【0046】

(2) 分布密度

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚1/10～1/5層の表面近傍領域におけるMnSの分布密度に対する板厚1/5層～中心の中心領域におけるMnSの分布密度の比は1.10以上であることが好ましい。MnSが表面近傍領域よりも中心領域において微細かつ高密度になることによって、表面近傍領域において一次再結晶組織をGoss方位粒の優先成長に顕著に有利な組織にし、仕上げ焼鈍時に中心領域の一次再結晶粒の成長を顕著に抑制することができるので、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を顕著に維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができるからである。

10

【0047】

ここで、本発明において、「MnSの分布密度」とは、鏡面研磨した断面を観察して数えたMnSの個数を観察視野の面積で除した値を意味する。

【0048】

4. 板厚

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板は、薄手の一方向性電磁鋼板を製造する時に均一な二次再結晶を発現させるようなインヒビター制御を行って得られることを前提としている。そのため熱延板の板厚は2.3mm以下、好ましくは2.1mm以下、より好ましくは2.0mm以下とし、その後の冷間圧延工程では85%以上、92%以下の圧下率で冷間圧延を施し最終板厚とするのが好ましい。一方、冷間圧延後の板厚が極度に薄くなり、本発明による改善が見られないため、熱延板の板厚は1.5mm以上とするのが好ましい。

20

【0049】

5. 製造方法

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板は、後述の「B. 一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法」に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法により製造することが好適である。

【0050】

B. 一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法

30

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法は、上述の化学成分を有する鋳片に熱間圧延を施す熱間圧延工程を有する。以下、本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法について説明する。

【0051】

1. 熱間圧延工程

熱間圧延工程においては、上述の化学成分を有する鋳片に熱間圧延を施す。また、上記熱間圧延工程においては、表面温度 T_s 1100～1200℃および板厚中心温度 T_c 1000～1100℃が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に施される圧延の真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とする。これにより、一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚1/10～1/5層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径を、板厚1/5層～中心の中心領域よりも粗大化させておくことができる。この結果、一次再結晶完了時点において、表面近傍領域におけるGoss方位粒を含む結晶粒の平均粒径を中心領域よりも粗大化させておくことができるので、二次再結晶時に鋼板表面近傍におけるインヒビター強度の低下が急速に起こったとしても、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を安定化させることができる。ここで、上記熱間圧延全体の真歪みは50%以上であることが好ましい。これにより、MnSの析出が促進され、上記の効果が顕著に高まるからである。

40

【0052】

ここで、本発明において、「鋼板の表面温度 T_s 」とは、接触式の温度計あるいは放射

50

温度計によって測定した温度を意味する。また、本発明において、「鋼板の板厚中心温度 T_c 」とは、通常公知の差分法による熱伝導解析により求めた温度を意味する。

【0053】

上述の化学成分を有する鋳片は、例えば、転炉または電気炉等により鋼を溶製して、必要に応じて真空脱ガス処理し、次いで連続鋳造もしくは造塊後分塊圧延することによって得られる。

【0054】

上記熱間圧延工程においては、上記鋳片に粗圧延および仕上げ圧延を施して所望の板厚の熱延板に仕上げる。このとき、後述の条件で上記鋳片を加熱した後に上記熱間圧延を施してもよい。また、上記粗圧延において1または2以上の圧延パスを施した鋼板に、後述の条件で冷却して保持した後に、さらに加熱して上記仕上げ圧延を施してもよい。

10

【0055】

上記熱間圧延工程において、表面温度 T_s $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ および板厚中心温度 T_c $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に施される圧延の真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とするとは、上記粗圧延および仕上げ圧延の全ての圧延パスから任意に選択した1または2以上の圧延パスを上記関係を満たす状態で鋼板に行い、上記関係を満たす状態で鋼板に行う上記1または2以上の圧延パスの真歪みを、上記粗圧延および仕上げ圧延の全ての圧延パスの真歪みの40%以上とすることを意味する。

【0056】

20

また、上記熱間圧延工程において、表面温度 T_s $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ および板厚中心温度 T_c $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に施される圧延の真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とする操業管理の条件としては、主に、以下の二つの好ましい条件がある。

【0057】

第1の条件では、表面温度にして 900°C 以下まで冷却した上記鋳片を、雰囲気温度が 1200°C 以上の加熱炉に装入して、装入後1時間以内に上記加熱炉から抽出した上記鋳片に上記熱間圧延を施す。これにより、上記鋳片の表面温度と板厚中心温度との差が確保され、続く上記熱間圧延工程において、1または2以上の圧延パスを、表面温度 T_s $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ および板厚中心温度 T_c $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に行う。そして、上記関係を満たす状態で鋼板に行う上記1または2以上の圧延パスの真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とする。

30

【0058】

第2の条件では、圧延後の鋼板を表面温度 T_s にして 1100°C 以上から $600 \sim 750^\circ\text{C}$ 以下まで $2^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上の平均冷却速度で冷却して $600 \sim 750^\circ\text{C}$ の温度域に $0 \sim 300 \text{ s}$ 保持した後に、上記圧延後の鋼板を表面温度 T_s にして 1100°C 以上 1150°C 以下の温度まで加熱した後さらに圧延を施す。具体的には、例えば、上記粗圧延または仕上げ圧延において行われる1または2以上の圧延パス後の鋼板を、表面温度 T_s にして 1100°C 以上から $600 \sim 750^\circ\text{C}$ 以下まで $2^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上の平均冷却速度で冷却して $600 \sim 750^\circ\text{C}$ の温度域に $0 \sim 300 \text{ s}$ 保持した後に、上記1または2以上の圧延パス後の鋼板を表面温度 T_s にして 1100°C 以上 1150°C 以下の温度まで加熱した後さらに仕上げ圧延において1または2以上の圧延パスを行う。

40

【0059】

これにより、上記粗圧延または仕上げ圧延において行われる1または2以上の圧延パス後の鋼板の表面温度と板厚中心温度の差が確保され、続く上記仕上げ圧延において行われる1または2以上の圧延パスを、表面温度 T_s $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ および板厚中心温度 T_c $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に行う。そして、上記関係を満たす状態で鋼板に行う上記1または2以上の圧延パスの真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とする。

【0060】

50

また、上記熱延板製造工程においては、表面温度 T_s 1100～1200℃および板厚中心温度 T_c 1000～1100℃が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で鋼板に施される上述の圧延のうち表面温度 T_s 1100～1150℃で鋼板に施される圧延の真歪みを、上記熱間圧延全体の真歪みの40%以上とすることが好ましく、50%以上とすることがさらに好ましい。一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径を、板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域よりも顕著に粗大化させておくことができる。この結果、一次再結晶完了時点において、表面近傍領域におけるGoss方位粒を含む結晶粒の平均粒径を中心領域よりも顕著に粗大化させておくことができるので、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができる。

10

【0061】

また、上記熱間圧延工程においては、上記鋳片を表面温度にして1250～1400℃に加熱した後に、上記加熱後の鋳片に上記熱間圧延を施すことが好ましい。上記熱間圧延を施す前に既に析出しているMnSを完全に溶体化させることができるため、上記熱間圧延を施すことによって、板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域においてMnSを板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域よりも、より微細かつ高密度に析出させることができる。これにより、中心領域において結晶粒の成長を顕著に抑制することで、一次再結晶組織をGoss方位粒の優先成長に顕著に有利な組織にし、仕上げ焼鈍時に一次再結晶粒の成長を顕著に抑制することができるので、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を顕著に維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができるからである。

20

【0062】

さらに、上記熱間圧延工程においては、上記鋳片が、上記Feの一部に代えて、質量%で、Bi、Pb、As、およびTeからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で0.02%以下、ならびにSb、Sn、およびPからなる群から選ばれる1種または2種以上：合計で0.5%以下をさらに含有することが好ましい。上記熱間圧延工程においては、上記加熱後の鋳片の板厚中心温度が表面温度よりも低くなることにより、粒界易動度が上記加熱後の鋳片の中心領域において表面近傍領域よりも小さくなる。さらに、上述の元素の偏析により粒界の移動速度が遅くなるため、上記加熱後の鋳片の中心領域において表面近傍領域よりも結晶粒径は顕著に小さくなる。この結果、一方向性電磁鋼板用熱延板において、板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径を、板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域よりも顕著に粗大化させておくことができるので、二次再結晶時に鋼板表面近傍におけるインヒビター強度の低下が急速に起こったとしても、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性を顕著に維持させて、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができるからである。

30

【0063】

2. 一方向性電磁鋼板用熱延板

本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法によって製造される一方向性電磁鋼板用熱延板としては、特に限定されるものではないが、上述の「A. 一方向性電磁鋼板用熱延板」に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板が好ましい。より均一な二次再結晶を発現させることによってより磁気特性を優れたものとした薄手の一方向性電磁鋼板を製造するために用いることができるからである。

40

【0064】

C. 一方向性電磁鋼板の製造方法

本発明の一方向性電磁鋼板の製造方法は、上述の「B. 一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法」に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法を行って一方向性電磁鋼板用熱延板を製造する熱延板製造工程と、上記一方向性電磁鋼板用熱延板に熱延板焼鈍を施す熱延板焼鈍工程と、上記熱延板焼鈍後の鋼板に冷間圧延を施す冷間圧延工程と、上記冷間圧延後の鋼板に脱炭焼鈍を施す脱炭焼鈍工程と、上記脱炭焼鈍後の鋼板に仕上げ焼鈍を施す仕上げ焼鈍工程とを有することを特徴とするものである。

50

以下、本発明の一方向性電磁鋼板の製造方法における各工程について説明する。

【0065】

1. 熱延板製造工程

上記熱延板製造工程においては、上述の「B. 一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法」に記載の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法を行って一方向性電磁鋼板用熱延板を製造する。

【0066】

熱延板製造条件は、上記「B. 一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法 1. 熱間圧延工程」の項目に記載の通りである。また、一方向性電磁鋼板用熱延板の構成は、上記「A. 一方向性電磁鋼板用熱延板」の項目に記載の通りである。

10

【0067】

2. 熱延板焼鈍工程

上記熱延板焼鈍工程においては、上記一方向性電磁鋼板用熱延板に熱延板焼鈍を施す。

【0068】

熱延板焼鈍条件は、特に限定されるものではないが、上記熱延板焼鈍工程においては、上記一方向性電磁鋼板用熱延板を900～1050℃の温度域に60s以上保持することが好ましい。熱延板焼鈍をこのような条件で施すことにより、AlNが析出してインヒビターとして作用する結果、二次再結晶組織におけるGoss方位への集積度が顕著に向上するからである。

上記熱延板焼鈍工程においては、上記仕上げ熱延後の鋼板をコイル状に巻き取り、自己保有熱にて上記の温度域に保持してもよいし、冷却後の熱延板に焼鈍を施して上記の温度域に保持してもよい。

20

【0069】

3. 冷間圧延工程

上記冷間圧延工程においては、上記熱延板焼鈍後の鋼板に冷間圧延を施す。

【0070】

4. 脱炭焼鈍工程

上記脱炭焼鈍工程においては、上記冷間圧延後の鋼板に脱炭焼鈍を施す。

【0071】

脱炭焼鈍条件は特に限定されるものではないが、上記脱炭焼鈍工程においては、上記冷間圧延後の鋼板を、350℃以下の温度から700℃以上850℃以下の温度まで昇温する昇温過程において100℃/s以上の昇温速度で加熱した後に、上記冷間圧延後の鋼板に上記脱炭焼鈍を施すことが好ましい。一次再結晶時の昇温での急速加熱の作用によって、一次再結晶完了時に、板厚方向全体においてGoss方位粒をGoss以外のランダム方位を持つ一次結晶粒よりも大きくすることができるからである。これにより、本発明における熱延板の組織による作用との相乗効果が生じることで、一次再結晶完了時点において、表面近傍領域におけるGoss方位粒の平均粒径が顕著に大きくなり、二次再結晶時に鋼板表面近傍におけるインヒビター強度の低下が急速に起こったとしても、鋼板表面近傍におけるGoss方位粒の優先成長性が顕著に維持されることが期待できる。この結果、薄手の一方向性電磁鋼板における二次再結晶組織を顕著に安定化させることができるからである。

30

40

【0072】

5. 仕上げ焼鈍工程

上記仕上げ焼鈍工程においては、上記脱炭焼鈍後の鋼板に仕上げ焼鈍を施す。これにより、上記脱炭焼鈍後の鋼板において二次再結晶を起こして一方向性電磁鋼板を得る。

【0073】

6. その他

本発明の一方向性電磁鋼板の製造方法は、一般的に一方向性電磁鋼板の製造方法において行われる工程をさらに有するものでもよい。上述以外の代表的な工程としては、溶解、 casting、熱延巻取り、酸洗、窒化焼鈍、焼鈍分離剤塗布、純化焼鈍、絶縁皮膜塗布が挙げら

50

れる。これらの工程は、一つの製造装置における1回の通板で複数の工程を行ってもよい。また、これらの工程は、一定の工程を複数回繰り返すことや、順番を入れ替えて行ってもよい。

【0074】

本発明の一方方向性電磁鋼板の製造方法において熱延と熱延板焼鈍で単独のA1Nが析出してA1Nの析出密度が不足する場合は上記脱炭焼鈍工程後上記仕上げ焼鈍工程前に、窒化焼鈍を行う窒化焼鈍工程を有してもよい。これにより、A1Nの析出密度が不足するのを回避することができる。

【0075】

上記窒化焼鈍工程においては、上記脱炭焼鈍後の鋼板を、700℃以上800℃以下の温度域に30s以上300s以下保持する窒化焼鈍を行うことが好ましい。

10

【0076】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【実施例】

【0077】

以下、実施例および比較例を例示して、本発明を具体的に説明する。

【0078】

(実施例1)

20

下記表1に示す化学成分を有する鋼番号1～16および鋼番号20～36の鋳片を雰囲気温度が1320℃の加熱炉に装入して30分間保持することにより、表面温度にして下記表2-1に示す鋳片加熱温度 T_{s0} に加熱した後に、加熱炉から抽出した鋳片に下記表2-1に示す条件で粗圧延および仕上げ圧延を施した。また、下記表1に示す化学成分を有する鋼番号17～19の鋳片を表面温度にして850℃に冷却した後に、雰囲気温度が1320℃の加熱炉に装入して30分間保持することにより、表面温度にして下記表2-1に示す鋳片加熱温度 T_{s0} に加熱した後に、加熱炉から抽出した鋳片に下記表2-1に示す条件で粗圧延および仕上げ圧延を施した。

【0079】

上記粗圧延では、鋼番号1～36の鋳片について、入側での鋼板の表面温度 T_{s1} [℃]、板厚中心温度 T_{c1} [℃]、および板厚 t_1 [mm]を下記表2-1に示すようにして最初の圧延パスを行った。また、上記粗圧延および仕上げ圧延において、表面温度 T_{s1} 1100～1200℃および板厚中心温度 T_{c1} 1000～1100℃が $T_{s1} - T_{c1} > 50$ ℃の関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおける最初の圧延パスの入側での鋼板の表面温度 T_{ss} [℃]、板厚中心温度 T_{cs} [℃]、 $T_{ss} - T_{cs}$ [℃]、および板厚 t_s [mm]、ならびに上記関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおける最終の圧延パスの出側での鋼板の表面温度 T_{sf} [℃]、板厚中心温度 T_{cf} [℃]、 $T_{sf} - T_{cf}$ [℃]、および板厚 t_f [mm]を下記表2-1に示すようにして、上記関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスを行った。

30

40

なお、 T_{ss} 、 T_{cs} 、および t_s が、 T_{s1} 、 T_{c1} 、および t_1 となっている鋼番号での熱間圧延においては、上記粗圧延における最初の圧延パスが、上記粗圧延および仕上げ圧延において、上記関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおける最初の圧延パスに該当する。

【0080】

以上のように、上記粗圧延および仕上げ圧延を施すことによって、仕上げ板厚 t_{ff} が2.3mmの熱延板を得た。また、上記関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される圧延の真歪み e_p [—]、および上記粗圧延および仕上げ圧延からなる熱間圧延全体の真歪み e_t [—]は、下記表2-1に示されるようになった。また、真歪み e_t に対する真歪み e_p の比 C_e ($e_p / e_t \times 100$) [%]は、下記表

50

2-1に示されるようになった。

【0081】

さらに、得られた熱延板の板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径 D_s [μm]、MnSの平均粒径 d_s [nm]、およびMnSの分布密度 ρ_s [μm^{-2}]、ならびに得られた熱延板の板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域における結晶粒の平均粒径 D_i [μm]、MnSの平均粒径 d_i [nm]、およびMnSの分布密度 ρ_i [μm^{-2}]を調査した。また、中心領域における結晶粒の平均粒径 D_i に対する表面近傍領域における結晶粒の平均粒径 D_s の比 D_s/D_i [-]、中心領域におけるMnSの平均粒径 d_i に対する表面近傍領域におけるMnSの平均粒径 d_s の比 d_s/d_i [-]、および表面近傍領域におけるMnSの分布密度 ρ_s に対する中心領域におけるMnSの分布密度 ρ_i の比 ρ_i/ρ_s [-]を算出した。結晶粒の平均粒径は観察された複数の結晶粒について、投影面積に対する同一面積の円の直径をそれぞれ求め平均した値、MnSの平均粒径は観察された複数のMnSについて、投影面積に対する同一面積の円の直径をそれぞれ求め平均した値、MnSの分布密度は鏡面研磨した断面を観察して数えたMnSの個数を観察視野の面積で除した値である。得られた結果を下記表2-2に示す。

10

【0082】

鋼番号20の熱延板は、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回ったため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。また、鋼番号21の熱延板は、 T_{s0} が低いために、 $T_{s1}100 \sim 1200^\circ\text{C}$ および $T_{c1}000 \sim 1100^\circ\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たさない状態で熱間圧延全体が施されることになるので、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。さらに、鋼番号22の熱延板は、上記粗圧延の途中で、板厚中心温度 T_{cs} が上昇したため、 $T_{s1}100 \sim 1200^\circ\text{C}$ および $T_{c1}000 \sim 1100^\circ\text{C}$ が $T_s - T_c > 50^\circ\text{C}$ の関係を満たす状態で連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される真歪み e_p が小さくなり、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。

20

【0083】

また、鋼番号24の熱延板は、鋳片加熱温度 T_{s0} が本発明の好ましい範囲である $1250 \sim 1400^\circ\text{C}$ を下回ったため、MnSの分散が不十分で、MnSの平均粒径の比 d_s/d_i および分布密度の比 ρ_i/ρ_s が本発明の好ましい範囲を下回り、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。

30

【0084】

また、鋼番号25の熱延板は、鋳片加熱温度 T_{s0} が本発明の好ましい範囲である $1250 \sim 1400^\circ\text{C}$ を上回ったため、MnSの平均粒径の比 d_s/d_i および分布密度の比 ρ_i/ρ_s が本発明の好ましい範囲を下回り、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。

【0085】

また、鋼番号26の熱延板は、C含有量が本発明の範囲を上回っているばかりか、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回ったため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。さらに、鋼番号27および28の熱延板は、Si含有量が本発明の範囲外であるばかりか、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回ったため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。

40

【0086】

また、鋼番号29および30の熱延板は、Mn含有量が本発明の範囲外であるため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。また、鋼番号31および32の熱延板は、S含有量が本発明の範囲外であるため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った。

【0087】

また、鋼番号33および34の熱延板は、Al含有量が本発明の範囲外であり、後述の実施例3において、 1200°C で保持する仕上げ焼鈍により二次再結晶が発現せず、磁束密度が極めて劣位な一方向性電磁鋼板が得られた。さらに、鋼番号35および36の熱延

50

板は、N含有量が本発明の範囲外であり、後述の実施例3において、1200℃で保持する仕上げ焼鈍により二次再結晶が発現せず、磁束密度が極めて劣位な一方向性電磁鋼板が得られた。

【0088】

これに対して、本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法における要件を満足する条件で熱間圧延を施した鋼番号1～19の熱延板は、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲内となり、MnSの平均粒径の比 d_s/d_i および分布密度の比 ρ_i/ρ_s が本発明の好ましい範囲内となった。

【0089】

【表1】

鋼番号	化学成分[質量%](残部:Feおよび不可避不純物)						
	C	Si	Mn	S	Al	N	その他
1	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
2	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
3	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
4	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
5	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
6	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi
7	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Pb
8	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01As
9	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Te
10	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.2Sb
11	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.2Sn
12	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.2P
13	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi, 0.01Te
14	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.2Sn, 0.2P
15	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi, 0.19Sn
16	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi, 0.2Sn
17	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
18	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi, 0.17Sn
19	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi, 0.18Sn
20	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
21	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
22	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
23	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
24	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
25	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
26	<u>1.20</u>	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
27	0.08	<u>2.1</u>	0.08	0.025	0.027	0.008	
28	0.08	<u>4.2</u>	0.08	0.025	0.027	0.008	
29	0.08	3.25	<u>0.04</u>	0.025	0.027	0.008	
30	0.08	3.25	<u>0.12</u>	0.025	0.027	0.008	
31	0.08	3.25	0.08	<u>0.005</u>	0.027	0.008	
32	0.08	3.25	0.08	<u>0.06</u>	0.027	0.008	
33	0.08	3.25	0.08	0.025	<u>0.008</u>	0.008	
34	0.08	3.25	0.08	0.025	<u>0.08</u>	0.008	
35	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	<u>0.0008</u>	
36	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	<u>0.04</u>	

※1)下線部は本発明の範囲外を示す。

【 0 0 9 0 】

【表 2 - 1】

鋼番号	冷却 実施 有無	Ts0 [°C]	粗圧延 最初の圧延パスの入側			条件Aを満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パス										tff [mm]	et [-]	Ce [%]	
			最初の圧延パスの入側			最初の圧延パスの入側							最終の圧延パスの出側						ep [-]
						Tss [°C]	Tcs [°C]	Tss-Tcs [°C]	ts [mm]	Tsf [°C]	Tcf [°C]	Tsf-Tcf [°C]	tf [mm]						
1	無し	1320	1160	1040	80	Ts1	Tc1	120	t1	1110	1050	60	18.8	1.45	2.3	3.55	40.8		
2	無し	1320	1160	1040	80	Ts1	Tc1	120	t1	1110	1050	60	14.9	1.68	2.3	3.55	47.4		
3	無し	1320	1160	1040	80	Ts1	Tc1	120	t1	1110	1050	60	12.8	1.83	2.3	3.55	51.6		
4	無し	1320	1160	1040	80	Ts1	Tc1	120	t1	1110	1050	60	10.0	2.08	2.3	3.55	58.6		
5	無し	1320	1220	1100	80	1180	1090	90	64	1160	1100	60	15.4	1.42	2.3	3.55	40.1		
6	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.4	1.47	2.3	3.55	41.4		
7	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.9	1.50	2.3	3.55	42.2		
8	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.5	1.52	2.3	3.55	42.8		
9	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.8	1.50	2.3	3.55	42.3		
10	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.8	1.50	2.3	3.55	42.3		
11	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.5	1.52	2.3	3.55	42.8		
12	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.8	1.50	2.3	3.55	42.3		
13	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.1	1.49	2.3	3.55	41.9		
14	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	17.4	1.53	2.3	3.55	43.0		
15	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.1	1.49	2.3	3.55	41.9		
16	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	13.5	1.78	2.3	3.55	50.1		
17	有り	1320	1190	1020	80	Ts1	Tc1	170	t1	1110	1050	60	18.5	1.46	2.3	3.55	41.3		
18	有り	1320	1190	1020	80	Ts1	Tc1	170	t1	1110	1050	60	18.4	1.47	2.3	3.55	41.4		
19	有り	1320	1180	1020	80	Ts1	Tc1	160	t1	1110	1050	60	12.8	1.83	2.3	3.55	51.6		
20	無し	1320	1160	1040	80	Ts1	Tc1	120	t1	1110	1050	60	22.1	1.29	2.3	3.55	<u>36.2</u>		
21	無し	1320	1080	1020	80	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	2.3	3.55	<u>0</u>		
22	無し	1320	1220	1050	80	1190	1090	100	64	1170	1090	80	22.4	1.05	2.3	3.55	<u>29.6</u>		
23	無し	1320	1110	1040	80	Ts1	Tc1	70	t1	1120	1060	60	38.0	0.74	2.3	3.55	<u>21.0</u>		
24	無し	1220	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.4	1.47	2.3	3.55	41.4		
25	無し	1420	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.5	1.46	2.3	3.55	41.3		
26	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	29.0	1.01	2.3	3.55	<u>28.6</u>		
27	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	30.1	0.98	2.3	3.55	<u>27.5</u>		
28	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	28.4	1.04	2.3	3.55	<u>29.2</u>		
29	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.4	1.47	2.3	3.55	41.4		
30	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.3	1.48	2.3	3.55	41.6		
31	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.4	1.47	2.3	3.55	41.4		
32	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1110	1050	60	18.6	1.46	2.3	3.55	41.1		
33	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1100	1040	60	18.4	1.47	2.3	3.55	41.4		
34	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1100	1040	60	18.1	1.49	2.3	3.55	41.9		
35	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1100	1040	60	19.1	1.43	2.3	3.55	40.4		
36	無し	1320	1150	1040	80	Ts1	Tc1	110	t1	1140	1000	140	19.0	1.44	2.3	3.55	40.5		

※1)下線部は本発明の範囲外を示す。

※2)条件A: 表面温度Ts(Tss、Tsf): 1100~1200°C、板厚中心温度Tc(Tcs、Tcf): 1000~1100°C、Ts-Tc>50°C

※3)ep: 条件Aを満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される圧延の真歪み

※4)et: 熱間圧延全体の真歪み

※5)Ce=(ep/et)×100

【 0 0 9 1 】

10

20

30

【表 2 - 2】

鋼番号	結晶粒平均粒径			MnS平均粒径			MnS分布密度			備考
	Ds [μm]	Di [μm]	Ds/Di [-]	ds [nm]	di [nm]	ds/di [-]	ρ_s [μm^{-2}]	ρ_i [μm^{-2}]	ρ_i/ρ_s [-]	
1	24.8	22.1	1.12	210	190	1.11	1.3	1.5	1.15	発明例
2	24.7	21.5	1.15	210	180	1.17	1.4	1.6	1.14	発明例
3	23.8	19.8	1.20	200	160	1.25	1.5	1.8	1.20	発明例
4	23.6	19.4	1.22	190	140	1.36	1.8	2.2	1.22	発明例
5	26.1	22.1	1.18	240	200	1.20	1.1	1.4	1.27	発明例
6	24.0	20.2	1.19	140	100	1.40	1.8	2.2	1.22	発明例
7	24.3	20.8	1.17	150	110	1.36	1.5	1.7	1.13	発明例
8	23.2	20.4	1.14	140	110	1.27	1.5	1.8	1.20	発明例
9	22.6	19.1	1.18	150	120	1.25	1.8	2.1	1.17	発明例
10	24.8	21.9	1.13	180	160	1.13	1.4	1.6	1.14	発明例
11	24.2	21.2	1.14	150	130	1.15	1.8	2.1	1.17	発明例
12	23.3	20.6	1.13	160	140	1.14	1.3	1.5	1.15	発明例
13	23.5	19.0	1.24	140	110	1.27	2	2.4	1.20	発明例
14	23.0	19.5	1.18	130	110	1.18	1.9	2.2	1.16	発明例
15	23.1	18.2	1.27	120	100	1.20	2.1	2.6	1.24	発明例
16	23.1	18.2	1.27	110	85	1.29	2.1	2.6	1.24	発明例
17	25.8	22.2	1.16	180	160	1.13	1.4	1.7	1.21	発明例
18	23.6	18.3	1.29	115	85	1.35	2	2.5	1.25	発明例
19	22.4	17.2	1.30	110	80	1.38	2.2	2.9	1.32	発明例
20	25.3	24.2	1.05	220	230	0.96	1.2	1.2	1.00	比較例
21	22.0	21.5	1.02	140	150	0.93	1.8	1.9	1.06	比較例
22	25.5	24.2	1.05	230	230	1.00	1.2	1.2	1.00	比較例
23	23.2	22.5	1.03	250	240	1.04	1.5	1.6	1.07	比較例
24	26.2	25.1	1.04	420	480	0.88	0.5	0.5	1.00	比較例
25	24.1	23.9	1.01	160	150	1.07	1.7	1.8	1.06	比較例
26	22.4	21.0	1.07	190	180	1.06	1.3	1.3	1.00	比較例
27	25.1	23.5	1.07	200	190	1.05	1.4	1.4	1.00	比較例
28	22.1	21.4	1.03	180	170	1.06	1.8	1.7	0.94	比較例
29	32.0	30.0	1.07	90	100	0.90	0.9	0.8	0.89	比較例
30	21.0	20.8	1.01	250	270	0.93	1.5	1.5	1.00	比較例
31	33.0	31.0	1.06	90	90	1.00	0.8	0.7	0.88	比較例
32	22.0	20.4	1.08	320	350	0.91	1.2	1.2	1.00	比較例
33	25.5	22.1	1.15	200	180	1.11	1.3	1.5	1.15	比較例
34	25.1	21.8	1.15	210	180	1.17	1.3	1.5	1.15	比較例
35	25.8	22.0	1.17	200	180	1.11	1.4	1.6	1.14	比較例
36	24.3	20.5	1.19	210	190	1.11	1.3	1.5	1.15	比較例

※1)下線部は本発明の範囲外を示す。

【0092】

(実施例2)

下記表3に示す化学組成を有する鋼番号37～57の鋳片を雰囲気温度が1320℃の加熱炉に装入して30分間保持することにより、表面温度にして下記表4-1に示す鋳片加熱温度Ts0に加熱した後に、加熱炉から抽出した鋳片に下記表4-1に示す条件で粗圧延および仕上げ圧延を施した。

【0093】

上記粗圧延では、入側での鋼板の板厚t1[mm]を下記表4-1に示すようにして最初の圧延パスを行った。また、表面温度Ts1100～1200℃および板厚中心温度Tc1000～1100℃がTs-Tc>50℃の関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスを、上記複数の圧延パスにおける最初の圧延パスの入側での鋼板の表面温度Tss[℃]、板厚中心温度Tcs[℃]、Tss-Tcs[℃]、および板厚ts[mm]、ならびに上記複数の圧延パスにおける最終の圧延パスの出側での鋼板の表面温度Ts f[℃]、板厚中心温度Tc f[℃]、Ts f-Tc f[℃]、および板厚t f[mm]を下記表4-1に示すようにして行った。上記粗圧延において、上記関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される圧延の真歪みepr[-]は、下記表4-1に示されるようになった。上記粗圧延を施すことによって、粗圧延

10

20

30

40

50

後板厚 t_{ff1} が 6.0 mm または 8.0 mm の粗圧延板を得た。

【0094】

そして、下記表 4-1 に示す条件に示すように、上記粗圧延により得られた粗圧延板を、表面温度にして 1100℃ の冷却開始速度 [℃] から 550～800℃ の冷却到達速度 [℃] まで 1.5～2.5℃/sec の平均冷却速度 [℃/sec] で冷却した後、180～600sec の保持時間 [sec] で上記冷却到達速度に等温保持し、表面温度にして再昇温到達温度 [℃] まで加熱した後、下記表 4-1 に示す条件で施す上記仕上げ圧延を施した。

【0095】

また、上記仕上げ圧延では、表面温度 T_{s1} 1100～1200℃ および板厚中心温度 T_{c1} 1000～1100℃ が $T_s - T_c > 50℃$ の関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスを、上記複数の圧延パスにおける最初の圧延パスの入側での鋼板の表面温度 T_{ss} [℃]、板厚中心温度 T_{cs} [℃]、 $T_{ss} - T_{cs}$ [℃]、および板厚 t_s [mm]、ならびに上記複数の圧延パスにおける最終の圧延パスの出側での鋼板の表面温度 T_{sf} [℃]、板厚中心温度 T_{cf} [℃]、 $T_{sf} - T_{cf}$ [℃]、および板厚 t_f [mm] を下記表 4-1 に示すようにして行った。上記仕上げ圧延において、上記関係を満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される圧延の真歪み e_p [-] は、下記表 4-1 に示されるようになった。上記仕上げ圧延を施すことによって、仕上げ板厚 t_{ff2} が 2.3 mm の熱延板を得た。

【0096】

また、上記粗圧延および仕上げ圧延からなる熱間圧延全体の真歪み e_t [-] は、下記表 4-1 に示されるようになった。また、上記粗圧延において上記関係を満たす状態で鋼板に施される真歪み e_{pr} および上記仕上げ圧延において上記関係を満たす状態で鋼板に施される真歪み e_{pf} の合計の真歪み e_p は、下記表 4-1 に示されるようになった。また、真歪み e_t に対する真歪み e_p の比 $C_e (e_p / e_t \times 100)$ [%] は、下記表 4-1 に示されるようになった。

【0097】

さらに、得られた熱延板の板厚 $1/10 \sim 1/5$ 層の表面近傍領域における結晶粒の平均粒径 D_s [μm]、MnS の平均粒径 d_s [nm]、および MnS の分布密度 ρ_s [μm^{-2}]、ならびに得られた熱延板の板厚 $1/5$ 層～中心の中心領域における結晶粒の平均粒径 D_i [μm]、MnS の平均粒径 d_i [nm]、および MnS の分布密度 ρ_i [μm^{-2}] を調査した。また、中心領域における結晶粒の平均粒径 D_i に対する表面近傍領域における結晶粒の平均粒径 D_s の比 D_s / D_i [-]、中心領域における MnS の平均粒径 d_i に対する表面近傍領域における MnS の平均粒径 d_s の比 d_s / d_i [-]、および表面近傍領域における MnS の分布密度 ρ_s に対する中心領域における MnS の分布密度 ρ_i の比 ρ_i / ρ_s [-] を算出した。結晶粒の平均粒径は観察された複数の結晶粒について、投影面積に対する同一面積の円の直径をそれぞれ求め平均した値、MnS の平均粒径は観察された複数の MnS について、投影面積に対する同一面積の円の直径をそれぞれ求め平均した値、MnS の分布密度は鏡面研磨した断面を観察して数えた MnS の個数を観察視野の面積で除した値である。得られた結果を下記表 4-2 に示す。

【0098】

鋼番号 56 および 57 の熱延板は、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回ったため、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が本発明の範囲を下回った。

【0099】

これに対して本発明の一方向性電磁鋼板用熱延板の製造方法における要件を満足する条件で熱間圧延を施した鋼番号 37～50 の熱延板は、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が本発明の範囲内となり、MnS の平均粒径の比 d_s / d_i および分布密度の比 ρ_i / ρ_s が本発明の好ましい範囲内となった。

【0100】

中でも、本発明の好ましい粗圧延後の冷却速度、冷却到達温度、および保持時間を満足

する鋼番号 37～46 の熱延板については、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i がより好ましい範囲となった。その中でも特に真歪みの比 C_e が 40～42 % となった鋼番号 37、40、および 42 の熱延板については、同じ化学成分を有し真歪みの比 C_e が 40～42 % となった鋼番号 1 よりも結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が好ましい範囲となった。また、真歪みの比 C_e が 50～52 % となった鋼番号 38、41、および 44 の熱延板についても同様に、同じ化学成分を有し真歪みの比 C_e が 50～52 % となった鋼番号 3 よりも結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が好ましい範囲となった。

【0101】

【表 3】

鋼番号	化学成分[質量%](残部:Feおよび不可避不純物)						その他
	C	Si	Mn	S	Al	N	
37	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
38	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
39	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
40	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
41	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
42	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
43	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
44	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
45	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi
46	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi
47	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
48	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
49	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
50	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
55	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
56	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	
57	0.08	3.25	0.08	0.025	0.027	0.008	0.01Bi

【0102】

10

20

30

【表 4 - 1】

鋼番号	Ts0 [°C]	t1 [mm]	粗圧延										仕上げ圧延										et [-]	Ce [%]					
			条件Aを満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パス										条件Aを満たす状態で鋼板に行われる複数の圧延パス																
			最初の圧延パスの入側					最終の圧延パスの出側					最初の圧延パスの入側					最終の圧延パスの出側											
			Tss [°C]	Tcs [°C]	Tss-Tcs [°C]	ts [mm]	Tsf [°C]	Tcf [°C]	Tsf-Tcf [°C]	tf [mm]	epf [-]	tff1 [mm]	冷却 開始 温度 [°C]	冷却 速度 [°C/sec.]	冷却 到達 温度 [°C]	保持 時間 [sec.]	再昇温 到達温度 [°C]												
			Tss [°C]	Tcs [°C]	Tss-Tcs [°C]	ts [mm]	Tsf [°C]	Tcf [°C]	Tsf-Tcf [°C]	tf [mm]	epf [-]	Tss [°C]	Tcs [°C]	Tss-Tcs [°C]	ts [mm]	Tsf [°C]	Tcf [°C]	Tsf-Tcf [°C]	tf [mm]	epf [-]	tff2 [mm]								
37	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.0	1.12	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1100	1040	60	4.18	0.36	2.3	3.55	41.9
38	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	18.5	1.46	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1100	1040	60	4.3	0.33	2.3	3.55	50.6
39	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	12.5	1.86	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1110	1040	70	4.3	0.33	2.3	3.55	61.7
40	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	36.9	0.77	8.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	8.0	1100	1040	60	3.8	0.74	2.3	3.55	42.8
41	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	25.9	1.13	8.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	8.0	1100	1040	60	3.9	0.72	2.3	3.55	52.0
42	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	55.0	0.37	8.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	8.0	1100	1040	60	2.7	1.09	2.3	3.55	41.2
43	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.0	1.12	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1110	1050	60	4.28	0.34	2.3	3.55	41.2
44	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	27.0	1.09	8.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	8.0	1100	1040	60	3.8	0.74	2.3	3.55	51.6
45	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.1	1.12	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1100	1040	60	4.16	0.37	2.3	3.55	41.9
46	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	25.9	1.13	8.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	8.0	1100	1040	60	3.88	0.72	2.3	3.55	52.2
47	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.2	1.12	6.0	1100	1.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1110	1040	70	4.18	0.36	2.3	3.55	41.6
48	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.8	1.09	6.0	1100	2.5	550	180	1140	1140	1020	120	6.0	1100	1040	60	4.15	0.37	2.3	3.55	41.2
49	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.4	1.11	6.0	1100	2.5	800	180	1140	1140	1020	120	6.0	1100	1040	60	4.17	0.36	2.3	3.55	41.5
50	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	26.4	1.11	6.0	1100	2.5	720	600	1140	1140	1020	120	6.0	1110	1040	70	4.2	0.36	2.3	3.55	41.3
56	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	37.8	0.75	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1110	1040	60	4.2	0.36	2.3	3.55	31.2
57	1320	80	1150	1040	110	80	1120	1050	70	38.1	0.74	6.0	1100	2.5	720	180	1140	1140	1020	120	6.0	1110	1040	70	4.3	0.33	2.3	3.55	30.3

※1)下線部は本発明の範囲外を示す。
※2)条件A: 表面温度Ts(Tss, Tsf): 1100~1200°C、板厚中心温度Tc(Tcs, Tcf): 1000~1100°C、Ts-Tc>50°C
※3)epf: 粗圧延において条件Aを満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される圧延の真歪み
※4)epf: 仕上げ圧延において条件Aを満たす状態で鋼板に連続して行われる複数の圧延パスにおいて施される圧延の真歪み
※5)ep=epf+epf
※6)et: 総間圧延全体の真歪み
※7)Ce=(ep/et)×100

【表 4 - 2】

鋼番号	結晶粒の平均粒径			MnS粒径			MnS分布密度			備考
	Ds [μm]	Di [μm]	Ds/Di [-]	ds [nm]	di [nm]	ds/di [-]	ρ_s [μm^{-2}]	ρ_i [μm^{-2}]	ρ_i/ρ_s [-]	
37	24.7	21.5	1.15	210	180	1.17	1.3	1.6	1.23	発明例
38	23.6	19.5	1.21	200	150	1.33	1.5	1.9	1.27	発明例
39	22.9	16.8	1.36	190	130	1.46	1.7	2.2	1.29	発明例
40	22.5	19.2	1.17	210	170	1.24	1.3	1.7	1.31	発明例
41	23.7	19.2	1.23	210	150	1.40	1.4	1.8	1.29	発明例
42	23.0	19.1	1.20	210	170	1.24	1.3	1.8	1.38	発明例
43	22.0	17.0	1.29	105	75	1.40	2.0	2.5	1.25	発明例
44	21.5	16.4	1.31	100	70	1.43	2.4	3.2	1.33	発明例
45	24.8	21.3	1.16	200	170	1.18	1.3	1.6	1.23	発明例
46	23.4	19.1	1.23	210	140	1.50	1.4	1.8	1.29	発明例
47	24.6	22.1	1.11	220	200	1.10	1.0	1.1	1.10	発明例
48	24.3	22.1	1.10	210	190	1.11	1.5	1.7	1.13	発明例
49	24.5	22.0	1.11	220	200	1.10	1.3	1.5	1.15	発明例
50	25.0	22.8	1.10	270	240	1.13	0.9	1.0	1.11	発明例
56	25.3	24.2	1.05	220	230	0.96	1.2	1.2	1.00	比較例
57	26.0	24.2	1.07	140	130	1.08	1.7	1.8	1.06	比較例

※1)下線部は本発明の範囲外を示す。

【0104】

(実施例3)

実施例1および2で製造された熱延板のうちの一部に対して、下記表5に示す捲取温度CT[°C]でコイルに巻き取った後、下記表5に示す条件で熱延板焼鈍を施した。具体的には、鋼番号1、3、6、17、19、37、38、40、45、20、26、28、33、34、35、36、および56の熱延板については、550°Cの捲取温度CTで巻き取ったコイルを1150°Cまで昇温後、900°Cに80sec保持する熱延板焼鈍を施した。また、鋼番号43、44、および46の熱延板については、950°Cの捲取温度CTで巻き取ったコイルを捲取温度CTに80sec保持する熱延板焼鈍を施した。これらの熱延板焼鈍後、下記表5に示すように、それぞれの熱延焼鈍板に対して冷間圧延を施すことによって、冷延板板厚tfffが0.23mmの冷延板を得た。上記冷間圧延後、上記冷延板に対して下記表5に示す条件で脱炭焼鈍を施した。具体的には、鋼番号40以外の熱延板については、835°Cで120sec保持する脱炭焼鈍を施し、脱炭焼鈍のために835°Cまで昇温する時に、300°Cから750°Cまで昇温する昇温過程において昇温速度を10°C/secとした。また、鋼番号40の熱延板については、835°Cで120sec保持する脱炭焼鈍を施し、脱炭焼鈍のために835°Cまで昇温する時に、300°Cから750°Cまで昇温する昇温過程において昇温速度を200°C/secとした。脱炭焼鈍を行った後、1200°Cまで昇温して、1200°Cで保持する仕上げ焼鈍を行った。これにより、一方向性電磁鋼板を製造した。

【0105】

このようにして製造された一方向性電磁鋼板から60mm×300mmの磁気測定試験片をせん断し、700°Cで歪取り焼鈍を行った後に、磁束密度B8[T]を測定した。結果を下記表5に示す。下記表5においては、B8が1.90T以上の試料では二次再結晶が安定化しているものとして二次再結晶安定性を○印で示し、B8が1.95T以上の試料では二次再結晶がさらに安定化しているものとして二次再結晶安定性を◎印で示し、B8が1.90T未満の試料では二次再結晶が安定化していないものとして二次再結晶安定性を△印で示し、また、二次再結晶が得られなかったものについては二次再結晶安定性を×印で示した。

【0106】

10

20

30

40

【表 5】

鋼番号	CT [°C]	熱延板焼鈍条件	t _{ff} [mm]	脱炭焼鈍前 昇温速度 [°C/sec]	脱炭焼鈍条件	B ₈ [T]	評価	備考
1	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.941	○	発明例
3	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.946	○	発明例
6	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.951	◎	発明例
17	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.944	○	発明例
19	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.960	◎	発明例
37	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.951	◎	発明例
38	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.958	◎	発明例
40	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	200	835°Cで120sec保持	1.960	◎	発明例
43	950	捲取後、80sec間等温保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.956	◎	発明例
44	950	捲取後、80sec間等温保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.971	◎	発明例
45	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.963	◎	発明例
46	950	捲取後、80sec間等温保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.976	◎	発明例
20	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.862	△	比較例
26	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.844	△	比較例
28	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	(冷延割)	-	-	-	×	比較例
33	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	二次再結晶せず	×	比較例
34	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	二次再結晶せず	×	比較例
35	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	二次再結晶せず	×	比較例
36	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	二次再結晶せず	×	比較例
56	550	1150°Cに昇温後、900°Cで80sec保持	0.23	10	835°Cで120sec保持	1.868	△	比較例

鋼番号20および26の熱延板は、上記表2-1に示されるように、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回ったため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った結果、鋼番号20および26の一方向性電磁鋼板は、B8がいずれも1.90Tを下回り劣位となった。

【0108】

これに対して、鋼番号20と同じ化学成分を有する鋼番号1の熱延板は、真歪みの比 C_e が本発明の範囲内となったため、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲内となった結果、鋼番号1の一方向性電磁鋼板では、B8が1.90Tを上回り高くなった。また、鋼番号3の熱延板は、鋼番号1と同じ化学成分を有するが、鋼番号1とは異なり、真歪みの比 C_e が本発明の好ましい範囲の50%以上であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の好ましい範囲の1.20以上となった結果、B8が1.946Tとなり鋼番号1よりも高くなった。また、鋼番号6の熱延板は、真歪みの比 C_e が鋼番号1と同程度であるが、鋼番号1とは異なり、偏析元素であるBiを含有し、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が鋼番号1よりも大きくなった結果、B8が1.951Tとなり鋼番号1よりも高くなった。さらに、鋼番号17の熱延板は、鋼番号1と同じ化学成分を有し、真歪みの比 C_e が鋼番号1と同程度であるが、鋼番号1とは異なり、鋳片を表面温度にして850℃に冷却した後に、雰囲気温度が1320℃の加熱炉に装入して30分間保持することにより、表面温度にして上記表2-1に示す鋳片加熱温度 T_{s0} に加熱した後に、上記粗圧延および仕上げ圧延を施したものであり、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が鋼番号1よりも大きくなった結果、B8が1.944Tとなり鋼番号1よりも高くなった。

【0109】

また、鋼番号19の熱延板は、鋼番号1とは異なり、偏析元素であるBiおよびSnを含有し、鋳片を表面温度にして850℃に冷却した後に、雰囲気温度が1320℃の加熱炉に装入して30分間保持することにより、表面温度にして上記表2-1に示す鋳片加熱温度 T_{s0} に加熱した後に、上記粗圧延および仕上げ圧延を施したものであり、真歪みの比 C_e が本発明の好ましい範囲の50%以上である。鋼番号19の一方向性電磁鋼板では、B8が1.960Tとなり鋼番号1よりも著しく高くなった。

【0110】

また、鋼番号26の熱延板は、C含有量が本発明の範囲を上回っているばかりか、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回っており、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った結果、鋼番号26の一方向性電磁鋼板では、B8が1.844Tと極めて劣位となった。

【0111】

また、鋼番号27の熱延板は、Si含有量が本発明の範囲を上回っているばかりか、真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回っており、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った結果、上記冷間圧延で著しい割れが生じ、一方向性電磁鋼板を製造することができなかった。

【0112】

また、鋼番号33および34の熱延板は、真歪みの比 C_e が本発明の範囲内であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲内であるが、Al含有量が本発明の範囲外であり、十分なAlNの分布密度とならず二次再結晶が発現しなかった。同様に、鋼番号35および36の熱延板は、真歪みの比 C_e が本発明の範囲内であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲内であるが、N含有量が本発明の範囲外であり、十分なAlNの分布密度とならず二次再結晶が発現しなかった。

【0113】

さらに、鋼番号56の熱延板は、上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が本発明の範囲を下回っており、結晶粒の平均粒径の比 D_s/D_i が本発明の範囲を下回った結果、B8が1.868Tと劣位となった。

【0114】

これに対して、鋼番号37、38、40、43、44、45、および46の熱延板は、

上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が本発明の範囲内であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が本発明の範囲内となった結果、B8が1.950Tを上回り、良好な磁気特性が得られた。また、これらの熱延板のうちの鋼番号38の熱延板は、上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が本発明の好ましい範囲の50%以上であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が鋼番号37よりも大きくなった結果、B8が1.958Tとなり鋼番号37よりも高くなった。また、鋼番号40の熱延板は、上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が鋼番号37と同程度であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が鋼番号37と同程度となったが、鋼番号37とは異なり、脱炭焼鈍のために835℃まで昇温する時に、300℃から750℃まで昇温する昇温過程において昇温速度を200℃/secとした結果、B8が1.960Tとなり鋼番号37よりも高くなった。また、鋼番号43の熱延板は、上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が鋼番号37と同程度であるが、鋼番号37とは異なり、950℃の捲取温度CTで巻き取ったコイルを捲取温度CTに80sec保持する熱延板焼鈍を施した結果、B8が1.956Tとなり鋼番号37よりも高くなった。また、鋼番号45の熱延板は、上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が鋼番号37と同程度であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が鋼番号37と同程度となったが、鋼番号37とは異なり、偏析元素であるBiを含有する結果、B8が1.963Tとなり鋼番号37よりも高くなった。

10

【0115】

さらに、鋼番号44および46の熱延板は、上記粗圧延と上記仕上げ圧延における真歪みの比 C_e が本発明の好ましい範囲の50%以上であり、結晶粒の平均粒径の比 D_s / D_i が鋼番号37よりも大きくなった上に、鋼番号37とは異なり、950℃の捲取温度CTで巻き取ったコイルを捲取温度CTに80sec保持する熱延板焼鈍を施した結果、B8が1.970以上となり、極めて良好な磁気特性が得られた。

20

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 F 1/16 (2006.01) H 0 1 F 1/16

(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

審査官 本多 仁

(56)参考文献 特開昭57-207114 (JP, A)
特開昭62-290824 (JP, A)
特開平03-115525 (JP, A)
特開昭62-010214 (JP, A)
特開平09-256052 (JP, A)
特開2002-129237 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C 2 2 C 38/00-38/60
C 2 1 D 9/46-9/48
C 2 1 D 8/12