

(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2004-270011

(P2004-270011A)

(43) 公開日 平成16年9月30日(2004.9.30)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
C 2 1 D 8/12	C 2 1 D 8/12 A	4 K O 3 3
C 2 2 C 38/00	C 2 2 C 38/00 3 O 3 U	5 E O 4 1
C 2 2 C 38/06	C 2 2 C 38/06	5 H O O 2
C 2 2 C 38/60	C 2 2 C 38/60	
H O 1 F 1/16	H O 1 F 1/16 A	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2003-65572 (P2003-65572)
 (22) 出願日 平成15年3月11日 (2003.3.11)

(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 100108176
 弁理士 白木 大太郎
 (72) 発明者 藤山 寿郎
 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)
) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
 Fターム(参考) 4K033 AA01 CA02 CA03 CA08 DA01
 FA12
 5E041 AA02 CA04 HB11 NN01
 5H002 AA04 AA08

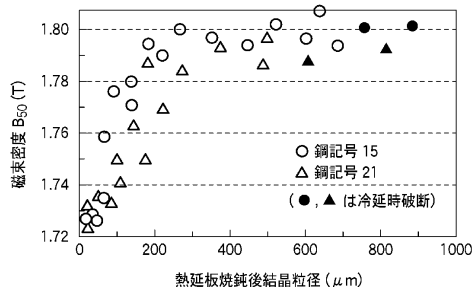
(54) 【発明の名称】 回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 同一の鋼板からロータ材及びステータ材の同時採取をしながら、ロータ材においては高い磁束密度及び高強度を、ステータ材においては高い磁束密度及び低鉄損を達成し得る高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法を提案する。

【解決手段】 鋼板組成が質量比でSi : 0.1% ~ 1.2%及びMn : 0.005 ~ 0.50%を含有し、C : 0.0050%以下(0を含む)、Sol. Al : 0.0004%以下(0を含む)、N : 0.0030%以下(0を含む)に制限され、残部Fe及び不可避不純物からなり、鋼板中に分散する粒成長阻害延性非金属介在物の個数密度が1000個/cm²以下(0を含む)である回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板を製造するに当たり、前記熱延板焼鈍を結晶粒径が50µm以上500µm以下となるように行うものである。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スラブを熱間圧延して熱延板を得、該熱延板に熱延板焼鈍を施した後、冷間圧延を行って最終板厚に仕上げ、さらに最終焼鈍を施して、鋼板組成が質量比で $Si: 0.1\% \sim 1.2\%$ 及び $Mn: 0.005 \sim 0.50\%$ を含有し、 $C: 0.0050\%$ 以下 (0 を含む)、 $So1. Al: 0.0004\%$ 以下 (0 を含む)、 $N: 0.0030\%$ 以下 (0 を含む) に制限され、残部 Fe 及び不可避不純物からなり、鋼板中に分散する粒成長阻害延性非金属介在物の個数密度が $1000 \text{ 個}/\text{cm}^2$ 以下 (0 を含む) である回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板を製造するに当たり、

前記熱延板焼鈍を結晶粒径が $50 \mu\text{m}$ 以上 $500 \mu\text{m}$ 以下となるように行うことを特徴とする回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。 10

ここに粒成長阻害延性非金属介在物とは最終焼鈍された鋼板の平均再結晶粒径を D としたとき、長さが $3 \times D \sim 9 \times D$ の介在物をいう。

【請求項 2】

鋼板組成が質量比で $Sb: 0.005 \sim 0.10\%$ および $Sn: 0.005 \sim 0.2\%$ から選んだ 1 種または 2 種をさらに含有することを特徴とする請求項 1 記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 3】

鋼板組成が質量比で $P: 0.001 \sim 0.2\%$ および $Ni: 0.001 \sim 0.2\%$ から選んだ 1 種または 2 種をさらに含有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。 20

【請求項 4】

鋼板組成が質量比で $REM: 0.0001 \sim 0.10\%$ および $Ca: 0.0001 \sim 0.01\%$ から選んだ 1 種または 2 種をさらに含有することを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 5】

不可避不純物のうち S 及び O が質量比で $S: 0.0050\%$ 以下 (0 を含む)、 $O: 0.0200\%$ 以下 (0 を含む) に制限されていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 6】

不可避不純物のうち Ti 、 Nb 及び V が質量比で $Ti: 0.0020\%$ 以下 (0 を含む)、 $Nb: 0.0050\%$ 以下 (0 を含む)、および $V: 0.0060\%$ 以下 (0 を含む) に制限されていることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。 30

【請求項 7】

平均再結晶粒径 D が $6 \sim 50 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 8】

最終焼鈍を $700 \sim 800$ の温度で施すことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法。 40

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の製造方法により製造された回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、回転機の組み立てに用いられる無方向性電磁鋼板の製造方法、特に回転機のロータに組み立てたときには高磁束密度であるとともに高強度であり、ステータ用として用いるときには高磁束密度であるとともに低鉄損であるというすぐれた特性を有する無方向性電磁鋼板の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

回転機のエネルギー消費を低下させるには、その鉄心（ロータ及びステータ）の磁束密度を上げるとともに、低鉄損化を図ることが効果的である。このうち、鉄損を低減する手段としては、Si, Al, Mn等の含有量を高めて鉄心材料の電気抵抗を増加させる手段が広く用いられている。これらの手段のほか、たとえば特許文献1に記載されているようなBを添加する方法、特許文献2に記載されているようなNiを添加する方法等が知られている。また、電磁鋼板の集合組織を、たとえば100 U V W 方位を有する結晶粒を優先的に成長させたものとするにより磁気特性を向上させる方法があり、たとえば特許文献3に提案されている。この手段により回転機鉄心内の磁束流を適正化することができ、高磁束密度で低鉄損の鉄心の製造が可能になっている。

10

【0003】

ところで、回転機用鉄心の製造に当たっては、材料の歩留まりを高く維持するために、一般に、同一の鋼板からロータ用鉄心板とステータ用鉄心板がプレスによって打ち抜かれる。そして、これらロータ用鉄心板とステータ用鉄心板をそれぞれ積層してロータ及びステータに組み立てることが行われる。

【0004】

このうち、ロータは、回転部材であり、高速回転に伴う高い応力が掛かるので強度が高いことが必要とされる。特に近年においては、回転機（モータ）の効率を上げるために、希土類磁石を埋め込んだ形式のロータが発達し、ロータの回転速度は著しく高くなっている。そのため、ロータを構成する電磁鋼板に対しては磁束密度及び強度、たとえば上降伏点（YP）、が従来に比べてより高いことが要求されるようになってきている。一方、ステータは、高い磁束密度を有し、かつ鉄損が低いことが回転機の小型化と省エネルギー化のため重要である。

20

【0005】

【特許文献1】

特開昭58-15143号公報

【特許文献2】

特開平3-281758号公報

【特許文献3】

特開昭58-181822号公報

30

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

このように、同じモータに使用される電磁鋼板であっても、ロータの組み立てに使用される鋼板（以下、「ロータ材」という）とステータの組み立てに使用される鋼板（以下、「ステータ材」という）とでは、要求特性が大きく異なる。従来提案されている技術は、ロータ材あるいはステータ材としての特性を個別に満たすものであっても、これら双方の特性を満たすように仕向けられたものではなかった。

【0007】

本発明は、同一の鋼板からロータ材及びステータ材の同時採取をしながら、ロータ材においては高い磁束密度及び高強度を、ステータ材においては高い磁束密度及び低鉄損を達成し得る高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法を提案するものである。

40

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者は、無方向性電磁鋼板の飽和磁束密度は素材の鉄の含有量（主として質量%によって表される）によって決まるものであり、鉄以外の元素、たとえばSiの含有量が高いと飽和磁束密度が低下することは避けられないこと、一方、磁束密度および強度は鋼板の結晶粒径によって支配されることに着目した。また、需要家での回転機のロータ及びステータの組み立て工程においては、鋼板からロータ用鉄心板とステータ用鉄心板を打ち抜いた後、歪取り焼鈍が行われることに着目した。さらに、Si含有量の低い無方向性電磁鋼

50

板の結晶粒径を上記ロータおよびステータの製造プロセスにおいて適正化することによりロータおよびステータにそれぞれ必要な特性を付与できることに着目した。

【0009】

さらに、ステータの組み立て過程で行われる歪取り焼鈍工程で結晶粒径の成長を支配する要因を探求し、AlNなどの微細析出物を抑制し、かつ鋼板中に分散する延性非金属介在物の個数密度を最終焼鈍された鋼板の平均結晶粒径と関係付けて所定値以下に制限することにより需要家でのステータの組み立て過程で行われる歪取り焼鈍工程（750 で2時間程度）で結晶粒径を十分成長させることができることの知見を得た。そして、上記目的を達する回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板の組成的充足条件及び組織的充足条件を明らかにするとともにその好適な製造条件、特に無効性電磁鋼板の製造過程で行われる熱延板焼鈍において結晶粒径を適正化することによって製品の磁束密度を向上できることを知った。

10

【0010】

本発明は、スラブを熱間圧延して熱延板を得、該熱延板に熱延板焼鈍を施した後、冷間圧延を行って最終板厚に仕上げ、さらに最終焼鈍を施して、鋼板組成が質量比でSi：0.1%～1.2%及びMn：0.005～0.50%を含有し、C：0.0050%以下（0を含む）、Sol.Al：0.0004%以下（0を含む）、N：0.0030%以下（0を含む）に制限され、残部Fe及び不可避不純物からなり、鋼板中に分散する粒成長阻害延性非金属介在物の個数密度が1000個/cm²以下（0を含む）である回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板を製造するに当たり、前記熱延板焼鈍を結晶粒径が50μm以上500μm以下となるように行うものである。ここに粒成長阻害延性非金属介在物とは最終焼鈍された鋼板の平均再結晶粒径をDとしたとき、長さが3×D～9×Dの介在物をいう。

20

【0011】

上記発明において、鋼板組成を質量比でSb：0.005～0.10%およびSn：0.005～0.2%から選んだ1種または2種をさらに含有すること、あるいは質量比でP：0.001～0.2%およびNi：0.001～0.2%から選んだ1種または2種をさらに含有することが好ましい。また、質量比でREM：0.0001～0.10%およびCa：0.0001～0.01%から選んだ1種または2種をさらに含有させることができる。

30

【0012】

また、鋼板組成における不可避不純物のうちS及びOは、質量比でS：0.0050%以下（0を含む）、O：0.0100%以下（0を含む）に制限されていることが好ましい。同様に上記不可避不純物のうちTi、Nb及びVが質量比でTi：0.0020%以下（0を含む）、Nb：0.0050%以下（0を含む）、およびV：0.0060%以下（0を含む）に制限されていることが好ましい。

【0013】

上記発明において、最終焼鈍後の鋼板の平均再結晶粒径Dは6～50μmとすることが好ましく、最終焼鈍を700～800 の温度で施すこととするのが好ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】

本発明の高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法は、質量比で以下の化学組成及び組織を有するものに適用される。

【0015】

Si：0.1～1.2%

鋼板の電気抵抗を増大させ、鉄損を低減するには、少なくとも0.1%のSiを含有させる必要があるが、Si含有量が1.2%を超えると、磁束密度が低下するだけでなく、硬度が上昇し、加工性が劣化する。したがって、Si含有量は0.1～1.2%の範囲とする。

【0016】

50

Mn : 0.005 ~ 0.30%

Mnは良好な熱間圧延の際の加工性を得るために必要な成分であり、そのためには0.005%以上含有させることが必要である。しかし、0.30%を超えると磁束密度が低下する。したがってMnの含有量は0.005~0.30%とする。

【0017】

C : 0.0050%以下(0を含む)

Cは、磁気時効劣化を抑制するためには極力低くする必要がある。また、本発明で採用される極低Al化の条件の下で集合組織の改善効果を十分に発揮させるためには、0.0050%以下に低減する必要がある。しかしながら、このCの低減は、必ずしも出発材料である溶鋼あるいはスラブの段階で達成されていなければならないものではなく、鋼板の製造過程中最終焼鈍を行うまでに達成されればよい。

10

【0018】

Sol. Al : 0.0004%以下(0を含む)

優れた粒成長性と磁気特性を得るためには、鋼板のAl量を0.0004%以下に低減することが必要である。Al含有量が0.0004%を超えると鋼板中にAlNが析出し、最終焼鈍された製品の磁束密度が低下する。また、ステータに打ち抜き後に行われる歪取り焼鈍の際の粒成長性が阻害され、鉄損値を十分低下させることができなくなる。

【0019】

N : 0.0030%以下(0を含む)

NはAlと結合して窒化物(AlN)の析出原因となるほか、Ti等と結合して種々の窒化物を形成し、最終焼鈍された製品の磁束密度を低下させる原因になる。また、ステータに打ち抜き後行われる歪取り焼鈍の際の粒成長性を阻害し、鉄損値の十分な低下を阻害する原因になる。そのためN量は0.003%以下、好ましくは0.0025%以下に低減させることが必要である。

20

【0020】

本発明の高磁束密度無方向性電磁鋼板の製造方法は、以上の基本組成を有するものに適用されるが、それだけでは本発明の目的を達成し得ない。最終焼鈍された鋼板中に分散する粒成長阻害延性非金属介在物、すなわち延性非金属介在物のうち鋼板の平均再結晶粒径をDとしたとき、長さが $3 \times D \sim 9 \times D$ の延性非金属介在物の個数密度が $1000 \text{個} / \text{cm}^2$ 以下(0を含む)であることが必要である。

30

【0021】

ここに、平均再結晶粒径とは、鋼板の 0.5mm^2 の面積中に存在する結晶粒の個数を測定し、それに基づいて結晶粒1個あたりの平均面積を算出し、その平均面積に等しい円の直径をいう。この平均結晶粒径は鋼板の板幅方向に垂直な断面を光学顕微鏡で観察することにより測定される。

【0022】

延性非金属介在物とは、圧延方向に長く伸びた棒状の介在物及び圧延方向に連続して並ぶ介在物をいう。また、 $10 \mu\text{m}$ 以内の距離にある2以上の介在物が圧延方向に対して $\pm 5^\circ$ 以内の方向に並んでいるときは、これらの介在物を繋がっているものとして1の延性介在物とみなす。

40

【0023】

延性介在物の長さとは、地鉄と介在物の界面における任意の2点間で引いた線分の長さの最大値、すなわち延性介在物の両端部間の距離をいう。その存在個数の測定は、鋼板の板幅方向に垂直な断面を研磨し、研磨まま(腐食処理等は行わずに)の面を光学顕微鏡で観察し、地鉄部分と色が異なる小さな領域を介在物と認定し、1つの試料に対しての観察視野を 5mm^2 として上記により認定した介在物のうち延性介在物と認められるものの個数を計測し 1cm^2 あたりに割り戻して個数密度とする。介在物には上記延性介在物のほかに孤立した円形の介在物があるが、これは非延性介在物として延性介在物にはカウントしない。

【0024】

50

(実験1)

質量比でC:0.002%、Si:0.7%、Mn:0.2%、Sol.Al:0.0004%以下、S:0.002%、O:0.02%以下、Ti:0.002%、Nb:0.001%、V:0.001%、残部不可避不純物を除きFeを基本成分とし、これにNを0.0010~0.0060%の範囲で添加したスラブを製造した。得られたスラブを1100 に加熱し2.3mm厚まで熱延したのち、800 で5hr保持する熱延板焼鈍を施した後、酸洗し、冷間圧延して0.35mmの最終板厚に仕上げ、さらに、800、15秒間の再結晶焼鈍を施して最終焼鈍板(製品)とした。なお、延性介在物の存在量、及び形態(長さ)の調整は、たとえば、酸素含有量とAl含有量の変更や熱間圧延での圧下スケジュールを変えることによって行った。

10

【0025】

得られた製品について平均結晶粒径の測定を行うとともに介在物の観察を行って延性介在物の長さ及び個数密度を測定した。ついで、上記製品に対し、需要家での歪取り焼鈍に相当する条件である窒素(N₂)雰囲気にて750、2hrの焼鈍(以下、単に「歪取り焼鈍」という)を施し、最終焼鈍板と同様平均結晶粒径の測定を行った。

【0026】

図1はこのようにして得られた最終焼鈍後の鋼板の平均結晶粒径に対する歪取り焼鈍後の鋼板の平均結晶粒径の比(以下「歪取り焼鈍結晶粒成長比」という)とN含有量の関係を、平均再結晶粒径をDとしたとき、長さが3×D~9×Dの介在物(以下「粒成長阻害延性介在物」という)の個数密度をパラメータとして表したグラフである。

20

【0027】

図1から分かるように、N含有量が0.0030%以下のとき、粒成長阻害延性介在物の個数密度が、1000個/cm²以下であれば、歪取り焼鈍結晶粒成長比が2以上となる。しかしながら、粒成長阻害延性介在物の個数密度が、1000個/cm²以下であっても、N含有量が0.0030%を超えると、あるいは粒成長阻害延性介在物の個数密度が、1000個/cm²を超えるときは、歪取り焼鈍結晶粒成長比が2未満となる。

【0028】

(実験2)

表1に示す組成を有する厚さ250mmのスラブを3本製造し、これらのスラブから機械加工により、厚さが25、50、100、200mm厚さになるように試料をそれぞれ切り出した。その後、これらの試料を1070 に加熱後、熱間圧延にて2.5mmとした後、800 において5hrの均熱を行なう熱延板焼鈍を施し、酸洗してから冷間圧延によって最終板厚0.5mmに仕上げた。この熱延板焼鈍後の粒径はいずれも50~500μmの範囲内であった。ついで、再結晶焼鈍条件を700~800 の範囲で調整し、製品板の結晶粒径が12μmまたは14μmである製品板とした。

30

【0029】

得られた製品板にはAr雰囲気中で750、2時間の歪取り焼鈍を施した。これらの製品板(再結晶焼鈍板)および歪取り焼鈍板の板幅方向に垂直な断面を光学顕微鏡で観察し、その平均結晶粒径を測定した。また、製品板については粒成長阻害延性介在物の個数密度を測定した。その結果を表2に示す。同表に示したように、製品板の粒成長阻害延性介在物の個数密度が1000個/cm²以下である試料では、歪取り焼鈍結晶粒成長比が大きい。

40

【0030】

【表1】

鋼 記号	化学組成 (mass%)								
	C	Si	Mn	Sol. Al	N	O	Ti	Nb	V
1	0.0027	0.50	0.27	0.0003	0.0015	0.0090	0.0003	0.002	0.0010
2	0.0021	0.50	0.23	0.0003	0.0019	0.0085	0.0004	0.002	0.0010
3	0.0026	0.60	0.22	0.0001	0.0018	0.0070	0.0003	0.001	0.0010

【 0 0 3 1 】

【 表 2 】

10

鋼 記号	スラブ 厚さ (mm)	平均結晶粒径		歪取り焼鈍 結晶粒成長比	粒成長阻害 延性非金属介在物 個数密度 (個/cm ²)	備考
		歪取り 焼鈍前 (μ m)	歪取り 焼鈍後 (μ m)			
1	25	12	50	4.2	0.3	発明例
	50		34	2.8	61	発明例
	100		22	1.8	1012	比較例
	200		17	1.4	3581	比較例
2	25		46	3.8	0.7	発明例
	50		36	3.0	65	発明例
	100		26	2.2	811	発明例
	200		19	1.6	2778	比較例
3	25		47	3.9	0.3	発明例
	50		43	3.6	19	発明例
	100		26	2.2	286	発明例
	200		22	1.8	1024	比較例
1	25	14	50	4.2	0.3	発明例
	50		32	2.7	42	発明例
	100		26	2.2	828	発明例
	200		16	1.4	3731	比較例
2	25		44	3.7	0.5	発明例
	50		34	2.8	35	発明例
	100		28	2.3	657	発明例
	200		22	1.8	2824	比較例
3	25		50	4.2	0.1	発明例
	50		43	3.6	11	発明例
	100		31	2.6	220	発明例
	200		23	1.9	1038	比較例

20

30

40

【 0 0 3 2 】

上記により分かるように、組成を一定範囲に制限し、かつ粒成長阻害延性介在物の個数密度を適正に制限すれば、歪取り焼鈍後の鋼板（ステータに組み上げられた鉄心材料）の平均結晶粒径を前記最終焼鈍後の粒径の2倍以上とすることができる。これによりステータにおける鉄損は大きく低減される。一方、ロータは最終焼鈍された状態の結晶粒が前記のように相対的に小さい状態の鋼板で組み立てられるから、その状態で使用することにより、強度、特に上降伏点（Y P）を高く維持することができ、高速回転用の回転機を効率的に組み立てることが可能になる。

50

【0033】

鋼板強度を支配する平均結晶粒径の大きさは、回転機の特성에応じて要求されるロータの強度レベルに依りて設計すればよい。しかしながら、一般的な回転機であれば鋼板の最終焼鈍後における平均結晶粒径は6～50 μm が好適である。

【0034】

なお、本発明の権利範囲の解釈に影響を与えるものではないが、粒成長阻害延性介在物の個数密度によって歪取り焼鈍結晶粒成長比が支配される理由は以下のように考えられる。

【0035】

まず、結晶粒径と同程度の長さの介在物が、最も粒成長性を阻害すると考えられるからである。すなわち、延性介在物は一つの、あるいは二つ以上の結晶粒界を横切って存在し、その結晶粒の成長性を阻害する確率が高くなる。しかしながら、電磁鋼板中に存在する非金属介在物の総量が一定の場合は、その鋼中に占める体積分率はほぼ一定と見られるので、ツェナー（Zener）の式の示すところにより、結晶粒径に比べて極端に長い介在物は粒成長性を阻害する可能性が低くなる。いいかえれば、延性介在物が粒成長性を阻害する程度は、介在物の長さによって異なり、本発明者等の知見では延性非金属介在物の長さが最終焼鈍板の平均結晶粒の3～9倍であるとき、すなわち粒成長阻害延性介在物のとき、最大となるのである。一方、非金属介在物の量は、直接、結晶粒の成長性を支配する。したがって、この範囲の長さの延性非金属介在物、すなわち「粒成長阻害延性介在物」の個数密度により「歪取り焼鈍結晶粒成長比」が影響を受けるのである。

【0036】

上記のように、無方向性電磁鋼板のSi、Mn、C、Sol、Al及びN含有量を制限しさらに粒成長阻害延性介在物の個数密度を1000個/cm²以下に押さえることによって歪取り焼鈍結晶粒成長比を大きくとることができ、回転機用に適した高磁束密度無方向性電磁鋼板とすることができるが、鋼板組成においてTi、Nb及びV、さらにSb、Snを制限あるいは添加することにより、その効果を一層確実にすることができる。そのことは、以下の実験により確認できた。

【0037】

(実験3)

表3に示す組成からなる鋼塊を製造し、これらの鋼塊を1070に加熱後、熱間圧延にて2.5mmとした後、800で5hrの均熱を行なう熱延板焼鈍を施し、酸洗してから冷間圧延によって最終板厚0.5mmに仕上げた。このときの熱延板焼鈍後の粒径はいずれも50～500 μm であった。ついで、800、10秒間の再結晶焼鈍をおこない製品板としたのち、750、2時間の歪取り焼鈍を施して製品板とした。得られた製品板および歪取り焼鈍後の製品板から、圧延方向と平行および圧延方向に直角に、それぞれサンプルを切りだし、JIS C 2550に準拠して磁束密度および鉄損を測定し、それらの平均値を求めた。測定結果は表3に併せて示す。

【0038】

【表3】

鋼 記号	化学組成 (mass %)											鉄損 $W_{10/50}$ (W/kg)		備考
	C	Si	Mn	Sol.Al	N	O	Ti	Nb	V	Sn	Sb	歪取り 焼鈍前	歪取り 焼鈍後	
11	0.0018	0.90	0.15	0.0001	0.0017	0.0065	0.0024	0.002	0.0010	-	-	6.7	6.1	比較例
12	0.0017	0.90	0.17	0.0002	0.0022	0.0060	0.0006	0.006	0.0020	-	-	6.2	5.8	比較例
13	0.0025	0.90	0.16	0.0001	0.0021	0.0065	0.0010	0.001	0.0065	-	-	6.4	5.9	比較例
14	0.0019	0.90	0.17	0.0002	0.0015	0.0070	0.0009	0.004	0.0020	-	-	5.3	4.3	発明例
15	0.0023	0.90	0.18	0.0001	0.0020	0.0060	0.0015	0.002	0.0020	-	-	5.2	4.2	発明例
16	0.0021	0.90	0.17	0.0001	0.0017	0.0055	0.0004	0.003	0.0050	-	-	5.1	4.2	発明例
17	0.0018	0.90	0.15	0.0002	0.0015	0.0055	0.0006	0.001	0.0010	-	0.01	5.2	3.8	発明例
18	0.0018	0.90	0.17	0.0001	0.0022	0.0055	0.0005	0.002	0.0010	0.01	-	5.3	3.7	発明例
19	0.0022	0.90	0.17	0.0001	0.0013	0.0060	0.0004	0.001	0.0020	0.02	0.03	5.2	3.6	発明例
20	0.0024	0.90	0.19	0.0002	0.0015	0.0065	0.0004	0.002	0.0020	-	0.08	5.2	3.7	発明例
21	0.0017	0.90	0.15	0.0001	0.0024	0.0065	0.0003	0.001	0.0010	0.19	-	5.2	3.7	発明例

10

20

30

40

50

【0039】

表3から分かるように、Tiを0.0020%以下、Nbを0.0050%以下、およびV量を0.0060%以下に制限することによって歪取り焼鈍後の磁気特性を一層良好にすることができる。また、SbまたはSnの1種または2種を添加することによって、歪

取り焼鈍後の鉄損が大幅に改善できる。Ti、NbおよびV量を低減することによって、磁気特性が改善する理由は必ずしも明らかでないが、TiおよびNb、そしてVはともに窒化物形成元素であり、これらの窒化物が微細に析出すると、集合組織形成および結晶粒成長性に悪影響を及ぼす微細析出AlNと同様の害を与えるため、これらの元素を低減することによってこの種の害が防止される結果、良好な磁気特性が得られるものと考えられる。

【0040】

歪取り焼鈍後の磁気特性に影響を及ぼす理由も明らかではないが、低Alの含Si鋼にTi、NbおよびV量が多いと、熱延板焼鈍や再結晶焼鈍時に部分的に固溶した窒化物または炭化物が、歪取り焼鈍時に窒化物または炭化物として析出し、磁壁の移動を阻害する結果、鉄損の劣化が生じるものと考えられる。

10

【0041】

また、SbまたはSnの1種または2種を添加することによって、歪取り焼鈍後の鉄損が大幅に改善される理由も明らかではないが、SbやSnの偏析がV等の析出挙動に影響を与え、析出の抑制と析出物の粗大化が起こるためであると考えられる。

【0042】

このように溶銑やSi原料から不可避免的に混入する、Ti、NbおよびVの量を制限することによって、上記したSol-Alの低減による効果が一層高まるとともに、磁気特性のさらなる向上が達成される。特に、Alを極力低減した成分系では、TiおよびNb量の制限に加えて、V量を制限することが有利である。その効果は、特に歪取り焼鈍後の鉄損の劣化防止において大きい。上記微量元素の制限についてまとめると以下のとおりである。

20

【0043】

Ti：0.0020%以下（0を含む）、Nb：0.0050%以下（0を含む）、およびV：0.0060%以下（0を含む）

Ti、NbおよびVは、微細な窒化物又は炭化物を形成して、集合組織の形成および結晶粒の成長性を阻害する。特に本発明にしたがい、sol-Al及びN含有量を低く制限した無方向性電磁鋼板ではその傾向が著しい。これら元素をそれぞれTi：0.0020%以下、Nb：0.0050%以下、V：0.0060%以下に低減すれば、その窒化物又は炭化物形成傾向が抑制されて、特に歪取り焼鈍後の鉄損の劣化が防止できる。

30

【0044】

Sb：0.005～0.10%およびSn：0.005～0.2%から選んだ1種または2種

SbおよびSnは、窒化物の微細析出を抑制するとともにその粒成長阻害効果を低減することにより、磁気特性上有利な集合組織の形成を効果的に促進させる。その効果はSb：0.005%以上、Sn：0.005%以上で現れるが、それぞれ0.10%超え、0.2%超えでは却って粒成長性を阻害する。

【0045】

上記のほか、下記の元素を制限あるいは添加することにより本発明鋼の特性をより効果的に発揮させることができる。

40

【0046】

P：0.001～0.2%およびNi：0.001～0.2%から選んだ1種または2種
本発明の無方向性電磁鋼板は、低Siであるためその硬度が低く、打ち抜きの際にダレやつぶれが発生したり、打ち抜き時に発生するカエリが大きくなって鋼板の占積率を低下させる等の問題が発生するおそれがある。P及びNiは電磁鋼板の硬度を上昇させる効果がある。したがって、電磁特性、特に磁束密度を害しない範囲内で需要家の要求に応じこれら元素を添加することができる。

【0047】

REM：0.0001～0.10%およびCa：0.0001～0.01%から選んだ1種または2種

50

REMやCaは硫化物を粗大化して鉄損を向上する作用を有する。したがって、これら元素をその効果の発現範囲、すなわちREM：0.0001～0.10%、Ca：0.0001～0.01%において適宜添加することができる。

【0048】

S：0.0050%以下（0を含む）、0：0.0100%以下（0を含む）
Sは、0.0050%を超えると、Mnやトランプ元素のCuなどと結合してMnSやCu₂Sを形成する傾向が強くなり、結晶粒成長を妨げる。また、Oは、0.0100%を超えると酸化物が増え、結晶粒成長を妨げる。したがってこれら元素は上記範囲内に制限するのが好ましい。

【0049】

本発明においては、最終焼鈍された鋼板の結晶粒径は、無方向性電磁鋼板に要求される強度レベル、鉄損レベルが、製造される回転機の特性によって変化するので一律に決定する必要はない。しかしながら、平均再結晶粒径Dを6～50μmとすることは、先に述べた歪取り焼鈍結晶粒成長比を比較的大きく、たとえば、3以上とすることに有利に作用する。

10

【0050】

本発明の適用対象は、上記の組成上、及び組織上の特徴を持たせた無方向性電磁鋼板、特に、回転機用高磁束密度無方向性電磁鋼板であるが、本発明の特徴はその製造過程中、熱延板焼鈍において結晶粒径が50μm以上500μm以下となるように調整する点にある。無方向性電磁鋼板は、一般に好適組成に調整された溶鋼を連続鑄造法によってスラブとし、これを熱間圧延して熱延板とし、必要に応じて熱延板焼鈍した後、1回以上の冷間圧延を施して最終板厚に仕上げることによって製造されるが、本発明では、上記組成的、組織的特徴を有する無方向性電磁鋼板を製造するに当り、上記熱延板焼鈍において結晶粒径が50μm以上500μm以下となるように調整するのである。

20

【0051】

図2は、表3のうち、鋼記号15及び21の組成を有する鋼塊を1070℃に加熱後、熱間圧延にて2.5mmとした後、750～800℃で5hr以内の均熱を行なう熱延板焼鈍を施して結晶粒径を5～1000μmとなるように調整したものについて、酸洗後、冷間圧延を行なって最終板厚0.5mmに仕上げ、ついで800℃、10秒間の再結晶焼鈍をおこない製品板としたものの熱延板焼鈍後の、すなわち冷延前の鋼板の結晶粒径と製品板の磁束密度の関係を示すグラフである。図2から分かるように、熱延板焼鈍後の結晶粒径が50μm、より確実に150μm以上となると、製品板の磁束密度が顕著に向上する。しかしながら、その効果は、熱延板焼鈍後の結晶粒径200μmでほぼ飽和し、500μmを超えると冷延の際に鋼板が破断し易くなるという問題が生ずる。したがって、熱延板焼鈍は、熱延板焼鈍後の結晶粒径が50μm以上500μm以下、好ましくは150μm以上500μm以下となるように行なう。

30

【0052】

その他の製造条件は、一般の無方向性電磁鋼板において採用されているもので十分である。しかしながら、本発明特有の組織的特徴を得るため、特に介在物のうち延性介在物の量、及び存在形態、特に平均結晶粒径に対する長さが所定範囲内となる延性介在物を低減するために、すなわち粒成長阻害延性介在物の量を1000個/cm²以下にするために、以下の手段のいずれか一又はそれらの組み合わせで製造することが望ましい。

40

【0053】

その一は、酸素含有量を低減することによりスラブ中の介在物の絶対量を減少させることである。これに代え、スラブ中の介在物をAlやMn量の増加により延性化させたり、逆にAlやMn量の低減により非延性化（微細化）させる手段もとる。また、熱延以後の累積圧下率が大きくなれば延性介在物は長くなり小さくなれば短くなる傾向にあるので、スラブ圧下率を増減、あるいは製品板厚の増減により非金属介在物の長さを調整して最終焼鈍された鋼板の平均再結晶粒径の3倍未満または9倍超とすることもできる。さらに、最終焼鈍での温度や均熱時間等の条件を変更して平均結晶粒径を増減させ、その結果と

50

して非金属介在物の長さを平均結晶粒径の3倍未満または9倍超とすることもできる。

【0054】

なお、上記製造プロセスにおいて、最終板厚に冷間圧延した冷延板に施す連続焼鈍の焼鈍温度を700～800 とすることは、平均結晶粒径を6～50 μmに調整し、あるいは鋼板の硬度を適当なレベル、たとえばビッカース硬さ(Hv)を100～170に調整する上で好ましい。

【0055】

このようにして製造された無方向性電磁鋼板は、回転機用の鉄心に打ち抜き、ロータ及びステータに組み立てることができる。その際、同一の鋼板からロータとステータのような鉄心材料を同時に打ち抜き、それぞれ積層してロータ及びステータ部材に組み立てた後、ステータ部材にのみ歪取り焼鈍を施して、粒成長を促し、その鉄損を下げるができる。この歪取り焼鈍の条件は、歪取り焼鈍結晶粒成長比が2以上になるものであればよいが、たとえば不活性ガス雰囲気中で750、2hr程度とすることが望ましい。この際、ロータ用鉄心部材には粒成長を伴う歪取り焼鈍は行わず、高い強度を保ったままにするのがよい。

10

【0056】

なお、最終焼鈍された無方向性電磁鋼板には、さらに軽度の歪み、たとえば0.5～5%程度の圧延歪みを付与した後、700～800の歪取り焼鈍を施し、再結晶を促して結晶粒径を30～100 μm程度に成長させることができる。このように処理された鋼板は、特に低鉄損が要求されるステータの組み立てに利用することができる。

20

【0057】

【実施例】

以下、実施例に基づき本発明の実施形態をより具体的に示す。

【0058】

表4に示す成分組成を有する厚さ215mmのスラブを連続鋳造法により製造した。これらのスラブを1110で40分間加熱した後、仕上圧延を行い厚さ2.5mmの熱延板とした。得られた熱延板について、表5に記載した条件のとおり熱延板焼鈍を施した後、酸洗するか、もしくは熱延板焼鈍を施さずにそのまま酸洗した後、冷間圧延により厚さ0.50mmの冷延板に仕上げた。ついで、容量比で水素：50%と窒素：50%の雰囲気中で、780、10秒の最終焼鈍を施した。得られた最終焼鈍板には重クロム酸塩と樹脂からなる半有機コーティング液を塗布し、300で焼きつけて最終製品とした。なお、粒成長阻害延性介在物の量は、スラブ厚さの変更や熱間圧延での圧下スケジュールの変更によって変動させた。

30

【0059】

得られた製品からサンプルを切出し、JIS C2550に準拠して磁束密度、鉄損、上降伏点(YP)およびビッカース硬さ(Hv)を測定した。また、平均結晶粒径および粒成長阻害延性介在物の個数密度を測定した。なお、測定は幅方向に垂直な面について行った。

【0060】

ついで、上記製品を窒素(N₂)雰囲気中にて750、2hrの歪取り焼鈍を行ったのち、前記製品について行ったのと同様にして鉄損および平均結晶粒径を測定するとともに、歪取り焼鈍結晶粒成長比を求めた。

40

【0061】

【表4】

鋼 記号	化学組成 (mass %)										
	C	Si	Mn	SoL. Al	N	S	O	Ti	Nb	V	Sn
22	0.0032	0.75	0.25	0.0003	0.0025	0.0035	0.0085	0.0003	0.002	0.0020	0.001
23	0.0031	0.80	0.25	0.0004	0.0024	0.0040	0.0080	0.0004	0.001	0.0020	0.015
24	0.0031	0.55	0.26	0.0002	0.0021	0.0025	0.0120	0.0002	0.002	0.0025	0.015
25	0.0032	0.75	0.25	0.0002	0.0017	0.0030	0.0095	0.0002	0.003	0.0020	0.020
26	0.0037	0.80	0.27	0.0003	0.0021	0.0030	0.0115	0.0003	0.002	0.0025	0.001
27	0.0028	0.55	0.25	0.0004	0.0022	0.0035	0.0095	0.0002	0.001	0.0020	0.001

10

20

30

40

【0062】

得られた結果を表5に示す。表4及び表5に示すように、本発明にしたがう成分組成及び粒成長阻害介在物個数密度を有するものは歪取り焼鈍結晶粒成長比が大きく、製品（最終焼鈍状態）の上降伏点（Y P）およびビッカース硬さ（H v）が比較的高いことと相俟って、回転機のロータ及びステータを同時に打ち抜いて製作するのに適したものとなっている。

50

【 0 0 6 3 】

【 表 5 】

鋼 記号	熱延板 焼鈍条件	熱延板 焼鈍後 粒径 (μm)	冷延後 破断の 有無	製品特性				粒成長阻害 延性介在物 個数密度 (個/ cm^2)	歪取り焼鈍後特性		歪取り 焼鈍 結晶粒 成長比	備考
				$W_{15/50}$ (w/kg)	B_{50} (T)	平均結 晶粒径 (μm)	YP (MPa)		ヒッカス 硬さ (Hv)	$W_{15/50}$ (w/kg)		
22	なし	39	なし	5.2	1.75	12	298	113	4.0	46	3.8	比較例
	820°C×2hr	62	なし	5.2	1.77	38	270	114	3.8	80	2.1	発明例
	850°C×5hr	582	あり	5.4	1.78	35	301	109	3.9	81	2.3	比較例
23	なし	43	なし	5.4	1.76	12	294	110	4.4	30	2.5	比較例
	820°C×2hr	212	なし	5.2	1.79	45	272	103	3.8	110	2.4	発明例
24	850°C×5hr	638	あり	5.4	1.79	42	292	108	3.8	107	2.5	比較例
	820°C×5hr	325	なし	5.4	1.80	33	288	115	4.1	85	2.6	発明例
25	820°C×2hr	167	なし	5.6	1.73	15	295	118	5.0	20	1.3	比較例
26	820°C×5hr	383	なし	6.0	1.72	12	298	115	5.1	23	1.9	比較例
27	820°C×2hr	256	なし	6.2	1.72	12	309	114	5.5	19	1.6	比較例

10

20

30

40

【 0 0 6 4 】

【 発明の効果 】

50

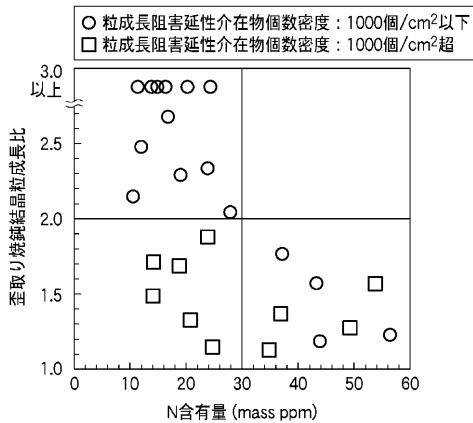
本発明により同一の鋼板からロータ材及びステータ材の同時採取をしながら、ロータ材には高い磁束密度及び高強度を、ステータ材には高い磁束密度及び低鉄損を付与し得る高磁束密度無方向性電磁鋼板を提供できる。これにより、回転機用部材、ひいては回転機の製造効率、出力特性を大幅に向上し得る。併せて、本発明により製造される無方向性電磁鋼板は、鑄造の際のリサイクル性に優れ、打ち抜き材のスクラップをリサイクルする場合の鑄造性が改善される。

【図面の簡単な説明】

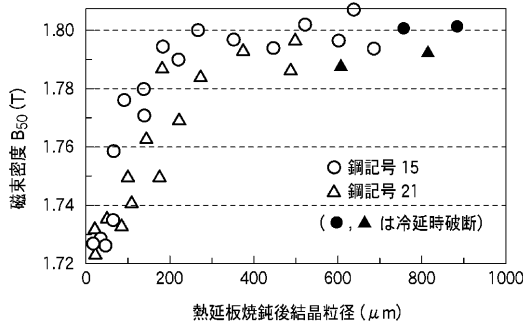
【図 1】最終焼鈍後の鋼板の平均結晶粒径に対する歪取り焼鈍後の鋼板の平均結晶粒径の比と N 含有量の関係を粒成長阻害延性非金属介在物の存在個数をパラメータとして表したグラフである。

【図 2】熱延板焼鈍後の鋼板の結晶粒径と製品板の磁束密度の関係を示すグラフである。

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

// H 0 2 K 1/02

F I

H 0 2 K 1/02

Z

テーマコード(参考)