

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4280224号  
(P4280224)

(45) 発行日 平成21年6月17日(2009.6.17)

(24) 登録日 平成21年3月19日(2009.3.19)

(51) Int.Cl.		F I		
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/00 3 0 3 U
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/14</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/14
<b>H 0 1 F</b>	<b>1/16</b>	<b>(2006.01)</b>	H 0 1 F	1/16 A

請求項の数 1 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-320804 (P2004-320804)	(73) 特許権者	000006655
(22) 出願日	平成16年11月4日(2004.11.4)		新日本製鐵株式会社
(65) 公開番号	特開2006-131943 (P2006-131943A)		東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(43) 公開日	平成18年5月25日(2006.5.25)	(74) 代理人	100099759
審査請求日	平成18年11月13日(2006.11.13)		弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100077517
			弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100113918
			弁理士 亀松 宏
		(74) 代理人	100082898
			弁理士 西山 雅也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄損に優れた無方向性電磁鋼板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、C：0.01%以下、Si：0.1%以上7.0%以下、Al：0.1%以上3.0%以下、Mn：0.1%以上2.0%以下、Ti： $0.0016\%$ 以上0.02%以下、REM：0.00075%以上0.05%以下、N：0.005%以下、S：0.005%以下を含有し、残部が鉄および不可避的不純物からなる無方向性電磁鋼板であって、亀裂ないし破面を有する径1μm以上5μm以下の含REM介在物を含有し、かつ、亀裂ないし破面を有する径1μm以上5μm以下の含REM介在物のうちTiNと結合している介在物数の割合が5%以上であり、さらに、[REM]で示されたREMの質量%と、[Ti]で示されたTiの質量%が、 $[REM] \div [Ti] \geq 0.5$ を満たすことを特徴とする無方向性電磁鋼板。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モーター鉄芯などに用いられる無方向性電磁鋼板の鉄損を下げ、エネルギーロスを少なくし、電気機器の効率化を図り省エネに寄与すべく、鉄損、特に、歪取焼鈍後の鉄損に優れた無方向性電磁鋼板を提供する。

【背景技術】

【0002】

無方向性電磁鋼板は、結晶粒径が150μm程度で鉄損が最小となることが知られてい

20

る。このため、製品特性の観点から、あるいは製造の簡略化、高生産性の観点から、仕上げ焼鈍での結晶粒成長性のより良い鋼板が望まれている。

【0003】

さらに、需要家によって鉄心の打ち抜き加工が施される際には、打ち抜き加工における打ち抜き精度は結晶粒が細かいほど良く、結晶粒径は、例えば40 μm以下が好ましい。このように、結晶粒径に対する鉄損と打ち抜き加工精度の要求が相反する場合もある。

【0004】

特に、この相反する要求を満たす場合は、製品板の結晶粒径を細かいまま出荷し、需要家の打ち抜き加工の後に、例えば、750 × 2時間程度の歪取り焼鈍を行って結晶粒を成長させる方策が採られている。

10

【0005】

近年、需要家より低鉄損材の要求ニーズが強く、また、需要家の生産性向上によって歪取り焼鈍の低温短時間化が志向されてきており、歪取り焼鈍での結晶粒成長性のより良い製品板のニーズが増大してきた。

【0006】

結晶粒成長を阻害する主たる要因のひとつは、鋼中に微細に分散する介在物である。製品中に含まれる介在物の個数がより多くなるほど、また、大きさが小さくなるほど、結晶粒成長が阻害されることが知られている。

【0007】

すなわち、ゼナー（Zener）が提示したように、介在物の球相当半径  $r$  と鋼中に占める介在物の体積占有率  $f$  で表される  $r/f$  値がより小さいほど、結晶粒成長はより悪化する。したがって、結晶粒成長を良好化するためには、介在物の個数をより少なくすることは勿論、介在物の大きさをより粗大化させることが肝要である。

20

【0008】

無方向性電磁鋼板の結晶粒成長を阻害する微細介在物としては、シリカやアルミナなどの酸化物、硫化マンガンなどの硫化物、窒化アルミや窒化チタンなどの窒化物などが知られている。

【0009】

これらの微細介在物を、除去あるいは必要十分なレベルにまで減少させるために、溶鋼段階で高純化を図ればよいことは自明である。しかし、微細介在物を除去、あるいは必要十分なレベルにまで減少させるために、溶鋼段階で高純化を図ることは、製鋼コストアップが避けられないので、好ましくない。

30

【0010】

そこで、別法として、種々の元素を鋼に添加して介在物の無害化を図る方法がいくつか知られている。

【0011】

酸化物に関しては、技術進歩により、強脱酸元素である Al を充分量添加し、酸化物の浮上除去時間を充分に採ることにより、溶鋼段階で酸化物を除去し無害化することが可能となっている。

【0012】

硫化物に関しては、例えば（特許文献1）、（特許文献2）、（特許文献3）、および、（特許文献4）などに開示されるように、脱硫元素である希土類元素（以下REMと記載）などの添加によってSを固定する方法が知られている。

40

【0013】

また、窒化物に関しても、（特許文献5）あるいは（特許文献6）などに開示されるように、Bの添加によって粗大介在物としてNを固定する方法が知られている。

【0014】

【特許文献1】特開昭51-62115号公報

【特許文献2】特開昭56-102550号公報

【特許文献3】特開昭59-74212号公報

50

【特許文献4】特許3037878号公報

【特許文献5】特許1167896号公報

【特許文献6】特許1245901号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

上述の方法によって、酸化物、硫化物ならびに窒化物を無害化した上で、製品板に仕上げ焼鈍あるいは打ち抜き加工後の歪取り焼鈍を行った場合、結晶粒成長が部分的にばらついて、微細結晶粒と粗大結晶粒が混在するようになり、鉄損が不良となる場合があった。

【0016】

この原因は、焼鈍段階において、製品板の一部に微細な炭化チタン（以下、TiCと記載）が生成し、結晶粒の成長を阻害するためであることが、以下に具体的に述べるように明らかであった。

【0017】

製品板の仕上げ焼鈍あるいは打ち抜き加工後の歪取り焼鈍は、通常、1000 以下の比較的低温で処理される場合が多く、なかでも、歪取り焼鈍は、製品板の表面コーティングの損耗を防ぐために750 程度とさらに低温であり、そのような低温で結晶粒を十分に成長させるため、1時間以上の長時間にわたる焼鈍を余儀なくされている。

【0018】

このような低温かつ長時間の焼鈍では、製品板の温度が全面で常に一定であることは極めて希であり、一部はより低温となり、別の一部はより高温となり、ばらつきが避けられない。

【0019】

ところで、電磁鋼において、TiCの生成温度が700～800 の範囲内にあることが、別途検討により明らかである。低温かつ長時間の焼鈍において、ばらつきの中で高温となった部分は、TiCの生成温度を超えるためTiCは生成せず、高温であるが故に、結晶粒成長速度も速く、従って、結晶粒は粗大化する。

【0020】

一方、ばらつきの中で低温であった部分は、TiCの生成温度以下となって、焼鈍中にTiCが生成することが起こり得る。低温下で生成するTiCは、低温の故に十分な大きさに成長することができず、微細となり、長時間の焼鈍中の結晶粒成長を妨げる。

【0021】

生成するTiCは微細であるため、鋼中に含有されるTi量とC量が高々数ppm程度であっても、結晶粒成長を阻害するに足る個数のTiCが生成することとなる。さらに、低温であるが故に、結晶粒の成長速度も遅いため、微細TiCによって結晶粒成長が阻害される効果がより強くなり、従って、結晶粒は成長せず微細となる。

【0022】

このように、焼鈍温度の不可避的なばらつきにより、TiC有無のばらつきが発生し、ひいては結晶粒成長のばらつきが発生することになるのである。

【0023】

本発明は、焼鈍中に微細TiCが析出することを防止することにより、結晶粒を十分に粗大成長させ、低鉄損化することが可能な無方向性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】

【0024】

本発明の要旨は次の通りである。

(1) 質量%で、C：0.01%以下、Si：0.1%以上7.0%以下、Al：0.1%以上3.0%以下、Mn：0.1%以上2.0%以下、Ti：0.0016%以上0.02%以下、REM：0.00075%以上0.05%以下、N：0.005%以下、S：0.005%以下を含有し、残部が鉄および不可避的不純物からなる無方向性電磁鋼

10

20

30

40

50

板であって、亀裂ないし破面を有する径  $1\ \mu\text{m}$  以上  $5\ \mu\text{m}$  以下の含 R E M 介在物を含有し、かつ、亀裂ないし破面を有する径  $1\ \mu\text{m}$  以上  $5\ \mu\text{m}$  以下の含 R E M 介在物のうち T i N と結合している介在物数の割合が 5 % 以上であり、さらに、[ R E M ] で示された R E M の質量 % と、[ T i ] で示された T i の質量 % が、 $[ R E M ] \div [ T i ] \geq 0.5$  を満たすことを特徴とする無方向性電磁鋼板。

【発明の効果】

【0026】

本発明により、無方向性電磁鋼板中に析出する微細な T i C を十分に抑制でき、仕上げ焼鈍や歪取り焼鈍段階での結晶粒成長を良好化することが可能となり、充分良好な磁気特性が得られ、需要家のニーズを満たしつつ省エネに貢献できる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下に、本発明の作用メカニズムについて説明する。前述の通り、電磁鋼中の硫化物を無害化するにあたって R E M を用いる技術、すなわち、R E M 添加により S を固定して硫化物系介在物を減少させる技術は、従来から知られている。

【0028】

ここで、R E M とは、原子番号が 57 のランタンから 71 のルテシウムまでの 15 元素に原子番号が 21 のスカンジウムと原子番号が 39 のイットリウムを加えた合計 17 元素の総称である。

【0029】

電磁鋼への R E M 添加によって起こる現象を、本発明者が仔細に検討した結果、鋼中の含 R E M 介在物の表面に T i N が析出する場合があります。特に、含 R E M 介在物が亀裂ないし破面を有するとき、その亀裂ないし破面に、優先的に T i N が複合析出するため、鋼中の T i がより多量に固定され、焼鈍中の T i C の生成が防止できることが判明した。これについて、以下に詳細に説明する。

20

【0030】

R E M は、鋼中で種々の元素と反応して介在物を形成するが、その一例として、R E M オキサイドや、R E M サルファイド、あるいは、R E M オキシサルファイドなどがある。これら含 R E M 介在物の結晶構造と T i N の結晶構造には類似する点が多いので、含 R E M 介在物が T i N の析出核生成サイトとなる場合がある。

30

【0031】

このため、鋼中に含 R E M 介在物が存在する場合、図 2 に示すように、含 R E M 介在物に対して幾何学的に整った形で、T i N が複合析出し、結合する場合がある。この理由は、含 R E M 介在物の表面は鋼との相互作用によって様々な形態を採るが、その中で、たまたま T i N の優先成長方位と整合する表面上に、T i N が核生成し易くなるためである。

【0032】

含 R E M 介在物と T i N が結合した状態で鋼中に存在すると、製品板の仕上げ焼鈍あるいは打ち抜き加工後の歪取り焼鈍の際に、T i N が溶解して T i C が生成することはない。なぜなら、T i N の生成温度は T i C の生成温度より高温であることが、別途、検討により明らかであるからである。

40

【0033】

ところで、これらの含 R E M 介在物は鋼より硬度が低いいため、鋼が圧延や鍛造等の加工を受けると、延伸するか、あるいは破砕して、亀裂ないし破面を生じる場合がある。加工の後に、含 R E M 介在物がどのような形態をとり、どの程度の亀裂ないし破面を有するかは、加工条件などに応じて種々である。但し、通常の電磁鋼板の製造方法によると、鋼中の含 R E M 介在物のうち、1 / 3 以上に亀裂ないし破面が存在する場合が多い。

【0034】

鋼が上記のような加工を受ける前、含 R E M 介在物の表面には、T i N 以外の化合物（例えば A l N など）が結合して覆われている場合がある。しかし、上記のような加工によって含 R E M 介在物の表面に亀裂ないし破面が生じたときには、亀裂ないし破面には化合

50

物が結合していないため、TiNが核生成し易い。このため、含REM介在物の亀裂ないし破面には、亀裂ないし破面以外の表面に比べてTiNが複合析出し易い。

【0035】

図2に示す含REM介在物は、球形の含REM介在物の表面にTiNが結合したものであり、また、図3に示す含REM介在物は、元来球形であった含REM介在物が縦半分に破断した半球形であり、右側の破面に多数のTiNが結合したものである。図2と図3を比較して明らかなように、含REM介在物の亀裂ないし破面には、亀裂ないし破面以外の表面に比べてより多数のTiNが積層するように結合し、TiNがより大きく成長する。

【0036】

このように、含REM介在物の亀裂ないし破面には、亀裂ないし破面以外の表面に比べて、より大きくより多数のTiNが結合する。すなわち、亀裂ないし破面を有する含REM介在物は、亀裂ないし破面のない含REM介在物に比べて、Tiの固定量がより多く、TiCの防止効果がより強力であることを、本発明者は新規に知見した。

10

【0037】

また、さらに、亀裂ないし破面を有する含REM介在物のうち、ある個数割合以上の含REM介在物にTiNが複合析出すれば、Tiが十分に固定されることとなり、焼鈍中のTiCの生成が防止されることを、本発明者は併せて新規に知見した。

【0038】

亀裂ないし破面のない含REM介在物にもTiNが複合析出するが、それによるTiの固定量は、上述の通り、亀裂ないし破面を有する含REM介在物よりかなり少ない。よって、TiC生成の防止効果を鑑みる上で、亀裂ないし破面を有する含REM介在物に着目すればよいことが判明した。

20

【0039】

従って、亀裂ないし破面を有する含REM介在物を鋼中に必ず含有していることが重要である。このような亀裂ないし破面を有する含REM介在物は、上記の通り、鋼の加工により、元来の球形の含REM介在物が破断して得られるものである。

【0040】

但し、上述の通り、通常の電磁鋼板の製造方法によると、鋼中の含REM介在物のうち、およそ1/3以上に亀裂ないし破面が存在する 경우가多いが、それ以外のものは、鋼の加工を行っても、亀裂ないし破面を有する含REM介在物とはならず、元来球形であった含REM介在物のまま、鋼中に残存するものが混在することがある。このような場合は、亀裂ないし破面を有する含REM介在物以外の含REM介在物は、元来の球形の含REM介在物となる。

30

【0041】

なお、含REM介在物の径が1 $\mu$ mを下回ると、亀裂ないし破面が入り難く、また、径が5 $\mu$ mを超える含REM介在物は、延伸や破砕によって径5 $\mu$ m以下になる場合が多い。よって、上述の、亀裂ないし破面を有する含REM介在物の個数割合は、径が1 $\mu$ mから5 $\mu$ mのものについて勘案すればよい。ここで、径とは、球相当直径のことを意味している。

【0042】

40

次に、Tiに関する具備条件について説明する。Tiが含REM介在物に強固に固定されるためには、TiNが生成し十分に成長することが必要であり、そのためには、TiNの成長に足るTiが鋼中に充分含有されることが必要である。

【0043】

但し、鋼中のTi量が過剰な場合には、鋼中の全てのTiが、TiNとして含REM介在物に固定されるわけではなく、TiNを形成し損ねた余剰Tiが残存し、それにより、TiCが生成することが起こり得る。従って、Ti量はREM量に対して、ある一定値以下の比率に押さえる必要があると推察される。

【0044】

以上を鑑み、発明者が鋭意検討の結果、鋼中に亀裂ないし破面を有する含REM介在物

50

が含有される場合に、径  $1\ \mu\text{m}$  以上  $5\ \mu\text{m}$  以下の亀裂ないし破面を有する含REM介在物のうち、TiNと結合する含REM介在物の個数の比率が5%以上であり、かつ、[REM]で示されるREMの質量%と、[Ti]で示されるTiの質量%が、 $[\text{REM}] \div [\text{Ti}] \geq 0.5$ を満たすときに、含REM介在物にTiがTiNとして十分に固定され、TiCの生成が抑制されることを見出した。

【0045】

以下に、上述の適正な条件について、具体的に、表1と図1を用いて説明する。質量%で、C:0.0026%、Si:3.0%、Al:0.59%、Mn:0.21%、N:0.002%、S:0.002%を含有し、REMならびにTiの含有量を表1に示す通りに種々変更した鋼を連続鋳造し、熱間圧延し、熱延板焼鈍し、厚さ0.35mmに冷間圧延し、 $850 \times 30$ 秒の仕上げ焼鈍を施し、絶縁皮膜を塗布して製品板を作成した。このときの製品板の結晶粒径はいずれも $31 \sim 34\ \mu\text{m}$ の範囲内であった。

10

【0046】

次に、これら製品板に、従来一般的に行われるより短時間の $750 \times 1.5$ 時間の歪取り焼鈍を施した。その後、介在物、結晶粒径ならびに磁気特性の調査を行った。結果を表1ならびに図1に示す。なお、図1の横軸の亀裂ないし破面を有する含REM介在物は、径 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下のサイズのもを対象としている。また、鋼中の含REM介在物の全個数に対する、亀裂ないし破面を有する含REM介在物の個数の割合は、35%から65%の範囲内であった。

【0047】

20

【表 1】

No.	成分値		製品鋼板中の含REM介在物		製品鋼板中の微細TiCの有無	焼鈍後結晶粒径[μm]	焼鈍後鉄損W15/50[W/kg]	摘要
	Ti [質量%]	REM [質量%]	含REM介在物の組成 ※1	亀裂ないし破面を有する含REM介在物のうちTiNの付随する割合 (%)				
1	0.0016	0.0049	R-OS	95	無	70	1.85	本発明例
2	0.0039	0.0052	R-OS	50	無	66	1.90	本発明例
3	0.0045	0.0090	R-OS	67	無	67	1.87	本発明例
4	0.0126	0.0480	R-S, R-OS	33	無	65	1.91	本発明例
5	0.0017	0.0010	R-O, R-OS	20	無	59	1.97	本発明例
6	0.0095	0.0050	R-O, R-OS	6.7	無	57	2.00	本発明例
7	0.0110	0.0095	R-O, R-OS	4.5 ※2	有	42	2.28	比較例： ※2外れ
8	0.0160	0.0085	R-O, R-OS	3.7 ※2	有	37	2.34	比較例： ※2外れ
9	0.0043	0.0020	R-OS	25	有	44	2.30	比較例： ※3外れ
10	0.0088	0.0028	R-S, R-OS	10	有	41	2.33	比較例： ※3外れ
11	0.0240	0.0105	R-O, R-OS	4.0 ※2	有	36	2.38	比較例： ※2 ※3外れ

※1 「R-S」はREMサルファイド、「R-O」はREMオキサイド、「R-OS」はREMオキシサルファイドの存在を示す。

※2 亀裂ないし破面を有する含REM介在物のうちTiNの付随する割合が5%未満のもの。

※3  $[REM] / [Ti]$  値が0.5未満のもの。

表 1

【0048】

No. 1からNo. 6に示すように、鋼板中に、径1 μm以上5 μm以下であって、亀裂ないし破面を有する含REM介在物を含有し、かつ、そのうちTiNと結合している含REM介在物の個数の割合が5%以上であり、かつ、[REM]で示されたREMの質量%と、[Ti]で示されたTiの質量%が、 $[REM] \div [Ti]$  0.5の範囲内にある場合には、歪取り焼鈍を施した後の結晶粒径は57 ~ 70 μmと十分に粒成長し、磁気

10

20

30

40

50

特性（鉄損：W15/50）は1.85～2.00W/kgと良好であった。

【0049】

これらの鋼中には、REMオキサイド、もしくは、REMサルファイド、もしくは、REMオキシサルファイドが存在しており、その内、径1μm以上5μm以下の亀裂ないし破面を有する介在物には、図3に示すような、TiNが結合した含REM介在物が観察された。また、焼鈍後の製品にはTiCは発生していなかった。

【0050】

以上の結果により、製品中のREMが、前述の、亀裂ないし破面を有する含REM介在物を形成し、その上にTiNが複合析出し、Tiが固定されたことにより、TiCの生成が防止されたことが明らかであった。

10

【0051】

また、[REM]÷[Ti]値はいずれも0.5以上であったが、なかでも、No.1からNo.4に示すように、[REM]÷[Ti]値が1.3を超えるものが、特に特性良好であった。

【0052】

No.7、No.8、および、No.11に示す例は、鋼板中の、径1μm以上5μm以下の亀裂ないし破面を有する含REM介在物のうち、TiNと結合している含REM介在物の個数の割合が5%未満である場合であり、No.9、No.10、および、No.11に示す例は、[REM]÷[Ti]<0.5である場合である。

20

【0053】

これらの鋼中には、REMオキサイド、もしくは、REMサルファイド、もしくは、REMオキシサルファイドが存在しており、その内、径1μm以上5μm以下の亀裂ないし破面を有する介在物には、TiNが結合する介在物が観察された。

【0054】

但し、いずれの製品板にもTiCが生成しており、これにより、焼鈍後の結晶粒成長が阻害され、焼鈍後の結晶粒径は36～44μmに留まり、W15/50値は2.28～2.38W/kg程度であり不良であった。

【0055】

No.7、No.8、および、No.11は、径1μm以上5μm以下の亀裂ないし破面を有する含REM介在物の個数が過少であるため、また、No.9、No.10、および、No.11は、Ti量に対するREM量が過少であるため、いずれも、含REM介在物にTiを固定しきれず、余剰のTiがTiCを形成し、これにより結晶粒成長が阻害されたことが明らかであった。

30

【0056】

以上の通り、亀裂ないし破面を有する径1μm以上5μm以下の含REM介在物のうちTiNと結合する介在物数の割合が5%以上であることが重要であるが、この割合は、大きいほどその効果がより顕著になるため、20%以上が好ましく、30%以上がさらに好ましい。

【0057】

以上の結果は、歪取り焼鈍を従来一般的に行われているより短時間で行った結果であるが、従来レベルの歪取り焼鈍を行った場合には、微細介在物のピン止め作用による結晶粒成長差がより顕著化するので、以上述べた結晶粒成長性、ならびに、鉄損の適不適が一層明確になることは言うまでもない。

40

【0058】

また、REMの元素であれば、1種だけ用いても、あるいは、2種以上の元素を組み合わせ用いても、本発明の範囲内であれば、上記の効果は発揮される。

【0059】

次に、本発明における成分組成の好ましい含有量の限定理由について説明する。

[C]：Cは、磁気特性に有害となるばかりか、Cの析出による磁気時効が著しくなるので、上限を0.01質量%とした。下限は0質量%を含む。

50

## 【0060】

【S<sub>i</sub>】：S<sub>i</sub>は鉄損を減少させる元素である。下限の0.1質量%より少ないと鉄損が悪化する。また、上限の7.0質量%を超えると加工性が著しく不良となるため、上限を7.0質量%とした。

## 【0061】

なお、S<sub>i</sub>は鋼中のT<sub>i</sub>の活量を上げる効果を有するため、S<sub>i</sub>量の下限值については、S<sub>i</sub>がより高いと、T<sub>i</sub>析出物の生成がより活発化し、REMオキシサルファイドへのT<sub>i</sub>Nの複合析出がより促進され、REMオキシサルファイド1個あたりに固定されるT<sub>i</sub>量が増加し、鋼中の微細なT<sub>i</sub>析出物の個数密度がより減少する。この効果はS<sub>i</sub>量の概ね二乗に比例するため、S<sub>i</sub>量はより高いほうが好ましい。

10

## 【0062】

具体的には、鋼中における径100nm以下の微細T<sub>i</sub>析出物の個数密度が、S<sub>i</sub>量が2.2質量%の場合に $1 \times 10^9$ 個/mm<sup>3</sup>以下となり、S<sub>i</sub>量が2.5質量%の場合に $5 \times 10^8$ 個/mm<sup>3</sup>以下となる。よって、S<sub>i</sub>量の下限值として、2.2質量%以上であることが好ましく、2.5質量%以上であればさらに好ましい。

## 【0063】

また、S<sub>i</sub>量の上限としてより好ましい値は、冷延性がより良好な4.0質量%である。上限値が3.5質量%であれば、冷延性が一層良好となって一層好ましい。

## 【0064】

【A<sub>1</sub>】：A<sub>1</sub>はS<sub>i</sub>同様に鉄損を減少させる元素である。下限の0.1質量%未満では鉄損が悪化し、上限の3.0質量%を超えるとコストの増加が著しい。A<sub>1</sub>の下限は、鉄損の観点から、好ましくは0.2質量%、より好ましくは0.3質量%、さらに好ましくは0.6質量%とする。

20

## 【0065】

【Mn】：Mnは鋼板の硬度を増加させ、打抜性を改善するために、0.1質量%以上添加する。なお、上限の2.0質量%は経済的理由によるものである。

## 【0066】

【N】：NはA<sub>1</sub>NやT<sub>i</sub>Nなどの窒化物となり鉄損を悪化させる。本発明によって、REM介在物にT<sub>i</sub>Nとして固定されるものの、その実用上の上限として0.005質量%とした。なお、上記の理由により、上限として好ましくは0.003質量%、より好ましくは0.0025質量%、さらに好ましくは0.002質量%である。

30

## 【0067】

また、前記の理由により、Nはできる限り少ないほうが好ましいが、0質量%に限りなく近づけるには工業的な制約が大きいいため、下限を0質量%超とする。なお、実用上の下限として0.001質量%を目安とし、0.0005質量%まで下げると窒化物が抑制されてより好ましく、0.0001質量%まで下げるとさらに好ましい。

## 【0068】

【T<sub>i</sub>】：T<sub>i</sub>はT<sub>i</sub>Cなどの微細介在物を生成し、粒成長性を悪化させ、鉄損を悪化させる。本発明によりREMオキシサルファイドにT<sub>i</sub>Nとして固定されるものの、その実用上の上限として0.02質量%とした。なお、上記の理由により、上限として好ましくは0.01質量%、より好ましくは0.005質量%である。

40

## 【0069】

また、T<sub>i</sub>は粒成長性を悪化させる元素であるために少ないほうが好ましいが、製鋼段階でT<sub>i</sub>を高純度化するためには、不純物として含有されるT<sub>i</sub>量が少ない、高純度で高価な原料を多く使用しなければならない。これにより、コスト高となる。よって、実用的なT<sub>i</sub>量の下限值として、実施例に基づいて0.0016質量%とした。

## 【0070】

【REM】：REMはオキシサルファイドを形成してSを固定し、微細サルファイドの生成を防止または抑制する。また、T<sub>i</sub>Nの複合生成サイトとなり、T<sub>i</sub>の固定効果を発揮する。このため、T<sub>i</sub>量に応じた所用量を上回る含有量を要する。具体的には、前述の

50

通り、 $[REM] \div [Ti]$  値が 0.5 以上となる必要がある。

【0071】

即ち、前述の  $Ti$  量の下限值に応じ、 $REM$  量の下限値は 0.00075 質量%となる。なお、これ以上の  $REM$  添加量が必要であるものの、過剰な  $REM$  添加はコスト高を招くため、経済的な理由により、上限値を 0.05 質量%と定めた。

【0072】

[S] :  $S$  は  $MnS$  等の硫化物となり、粒成長性を悪化させ、鉄損を悪化させる。本発明により、 $REM$  サルファイドないし  $REM$  オキシサルファイドとして固定されるものの、その実用上の上限として 0.005 質量%とした。

【0073】

また、前記の理由により、 $S$  はできる限り少ないほうが好ましいが、0 質量%に限りなく近づけるには工業的な制約が大きく、また、 $REM$  サルファイドないし  $REM$  オキシサルファイドの形成に必要であるため、下限を 0 質量%超とし、経済性などを考慮した実用上の下限として 0.0005 質量%を目安とする。

【0074】

以上、述べてきた成分以外の元素で、本願の鋼の効果を大きくさまたげるものでなければ、含有していても良い。

【0075】

以下に、選択元素について説明する。なお、これらの含有量の下限値は、すべて 0 質量%超とする。

【0076】

[P] :  $P$  は材料の強度を高め、加工性を改善する。但し、過剰な場合は冷延性を損ねるため、0.1 質量%以下が好ましい。

【0077】

[Cu] :  $Cu$  は耐食性を向上させ、また、固有抵抗を高めて鉄損を改善する。但し、過剰な場合は製品板の表面にヘゲ疵などが発生して表面品位を損ねるため、0.5 質量%以下が好ましい。

【0078】

[Ca] および [Mg] :  $Ca$  および  $Mg$  は脱硫元素であり、鋼中の  $S$  と反応してサルファイドを形成し、 $S$  を固定する。しかし、 $REM$  と異なり、 $TiN$  を複合して析出させる効果は小さい。添加量を多くすれば脱硫効果が強化されるが、上限の 0.05 質量%を超えると、過剰な  $Ca$  および  $Mg$  のサルファイドにより粒成長が妨げられる。よって、0.05 質量%以下が好ましい。

【0079】

[Cr] :  $Cr$  は耐食性を向上させ、また固有抵抗を高めて鉄損を改善する。但し、過剰な添加はコスト高となるため、20 質量%を上限とした。

【0080】

[Ni] :  $Ni$  は磁気特性に有利な集合組織を発達させ、鉄損を改善する。但し、過剰な添加はコスト高となるため、1.0 質量%を上限とした。

【0081】

[Sn] および [Sb] :  $Sn$  または  $Sb$  は偏析元素であり、磁気特性を悪化させる (111) 面の集合組織を阻害し、磁気特性を改善する。これらは、1 種だけ用いても、あるいは 2 種を組み合わせ用いても、上記の効果を発揮する。但し、0.3 質量%を超えると冷延性が悪化するため、0.3 質量%を上限とした。

【0082】

[Zr] :  $Zr$  は微量でも結晶粒成長を阻害し、歪取り焼鈍後の鉄損を悪化させる。よって、できる限り低減して、0.01 質量%以下とすることが好ましい。

【0083】

[V] :  $V$  は窒化物あるいは炭化物を形成し、磁壁移動や結晶粒成長を阻害する。このため、0.01 質量%以下とすることが好ましい。

10

20

30

40

50

## 【0084】

【B】：Bは粒界偏析元素であり、また窒化物を形成する。この窒化物によって粒界移動が妨げられ、鉄損が悪化する。よって、できる限り低減して、0.005質量%以下とすることが好ましい。

## 【0085】

以上の他にも公知の元素を添加することが可能であり、例えば、磁気特性を改善する元素として、Bi、Geなどを用いることができ、これらを、所要の磁気特性に応じて適宜選択すればよい。

## 【0086】

次に、本発明における好ましい製造条件ならびにその規定理由について説明する。まず、製鋼段階において、転炉や2次精錬炉などの常法により所望の組成範囲内の溶鋼を溶製した後、連続鋳造、ないし、インゴット鋳造によりスラブ等の鋳片を鋳造する。

## 【0087】

この後、さらに、熱間圧延し、必要に応じて熱延板焼鈍し、一回または中間焼鈍を挟む二回以上の冷間圧延により製品厚に仕上げる。このとき、熱間圧延の圧下率をより高くすると、鋼中の含REM介在物がより延伸あるいは破碎し易く、亀裂ないし破面がより生じ易く、好ましい。なお、圧下率の配分を、圧延後段側でより高めるように調整すると、鋼中の含REM介在物に亀裂ないし破面が入るように、せん断力がより効果的に作用するため好ましい。

## 【0088】

このとき、製品の板厚は既定であるため、圧下率をより上げるためには、より厚いスラブが必要となる。従って、所用のスラブ厚に下限値が存在することとなる。無方向性電磁鋼板の一般的な製品板厚が0.2mmから0.7mm程度であることを鑑みると、スラブ厚は50mm以上が好ましく、80mm以上であればより好ましく、100mm以上であればさらに好ましく、150mm以上であれば一層好ましい。

## 【0089】

また、含REM介在物の亀裂ないし破面にTiNが複合析出するときに、亀裂ないし破面を有する径1 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下の含REM介在物数の5%以上にTiNが結合するように、温度履歴を調整することが肝要である。具体的には、1000以上の温度範囲に15分以上保持すれば通常よい。

## 【0090】

製品厚に仕上げた後に、仕上げ焼鈍し、絶縁皮膜を塗布する。以上述べた方法により、製品板中の介在物を本発明範囲内に制御することが可能となる。

## 【実施例】

## 【0091】

質量%で、C：0.0026%、Si：3.0%、Al：0.59%、Mn：0.21%、N：0.002%、S：0.002%を含有し、REMならびにTiの含有量を表1に示す通りに種々変更した鋼を連続鋳造し、熱間圧延し、熱延板焼鈍し、厚さ0.35mmに冷間圧延した。

## 【0092】

次いで、850 $\times$ 30秒の仕上げ焼鈍を施し絶縁皮膜を塗布して製品板を製造し、さらに、750 $\times$ 1.5時間の歪取り焼鈍を施した後に、製品板中の介在物調査、結晶粒径調査、ならびに、25cmエプスタイン法による磁気特性調査を行った。介在物調査は、鋼板を鏡面研磨してSEMで観察する方法と、レプリカ法によって介在物を抽出した後にTEMを用いて観察する方法を併用し、結晶粒径は板厚断面を鏡面研磨し、ナイタールエッチングを施して結晶粒を現出させて平均結晶粒径を測定した。

## 【0093】

前記の表1から明らかのように、本発明に準拠する製品板は結晶粒成長ならびに鉄損値に関して良好な結果が得られた。一方、本発明範囲外の製品板は結晶粒成長ならびに鉄損値が劣る結果が得られた。

【産業上の利用可能性】

【0094】

以上説明した通り、無方向性電磁鋼板中に内包される介在物を適正に制御することにより、簡易な焼鈍でも安定して良好な磁気特性が得られ、特に、簡易な歪取り焼鈍でも安定して良好な磁気特性を得ることが可能となり、需要家のニーズを満たしつつ省エネに貢献できる。

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図1】製品中に含有される径1μm以上5μm以下の含REM介在物の個数に対する、亀裂ないし破面を有する含REM介在物の個数比率と、焼鈍後の製品の結晶粒径ならびに鉄損値との相関を示す図である。

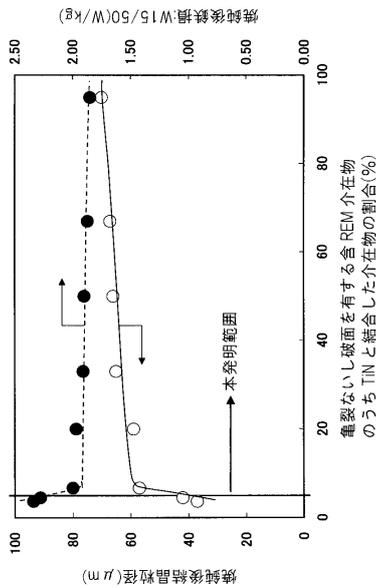
10

【図2】REMオキシサルファイドの表面上にTiNが複合した介在物を示す図である。

【図3】REMオキシサルファイドの破面にTiNが複合した介在物を示す図である。

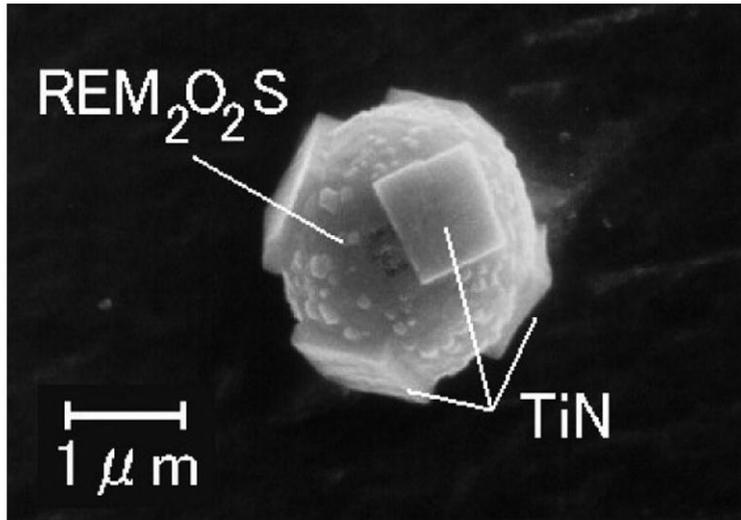
【図1】

図1



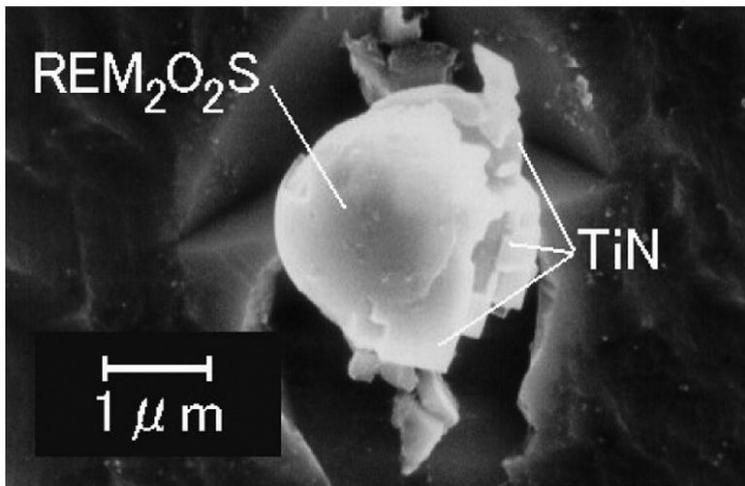
【 図 2 】

図2



【 図 3 】

図3



## フロントページの続き

- (72)発明者 宮崎 雅文  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 大橋 渡  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 黒崎 洋介  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 久保田 猛  
千葉県富津市新富 2 0 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 松本 穰  
福岡県北九州市戸畑区飛幡町 1 - 1 新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所内
- (72)発明者 切敷 幸一  
福岡県北九州市戸畑区飛幡町 1 - 1 新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所内

審査官 佐藤 陽一

- (56)参考文献 特開平 1 0 - 2 1 2 5 5 6 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 0 0 3 6 9 9 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0  
C 2 1 D 8 / 1 2 , 9 / 4 6 , 5 0 1