

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4860783号  
(P4860783)

(45) 発行日 平成24年1月25日(2012.1.25)

(24) 登録日 平成23年11月11日(2011.11.11)

(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>38/34</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C 38/34
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/60</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C 38/60
<b>H 0 1 F</b>	<b>1/16</b>	<b>(2006.01)</b>	H 0 1 F 1/16 A
<b>C 2 1 D</b>	<b>8/12</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 1 D 8/12 A

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2011-522315 (P2011-522315)  
 (86) (22) 出願日 平成23年2月21日(2011.2.21)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2011/053676  
 (87) 国際公開番号 W02011/105327  
 (87) 国際公開日 平成23年9月1日(2011.9.1)  
 審査請求日 平成23年6月13日(2011.6.13)  
 (31) 優先権主張番号 特願2010-39867 (P2010-39867)  
 (32) 優先日 平成22年2月25日(2010.2.25)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000006655  
 新日本製鐵株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号  
 (74) 代理人 100090273  
 弁理士 園分 孝悦  
 (72) 発明者 島津 高英  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新  
 日本製鐵株式会社内  
 (72) 発明者 本間 穂高  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新  
 日本製鐵株式会社内  
 (72) 発明者 黒崎 洋介  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新  
 日本製鐵株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無方向性電磁鋼板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Cr : 0 . 3 質量% ~ 5 . 3 質量%、  
 Si : 1 . 5 質量% ~ 4 質量%、  
 Al : 0 . 4 質量% ~ 3 質量%、及び  
 W : 0 . 0 0 0 3 質量% ~ 0 . 0 1 質量%

を含有し、

C含有量が0 . 0 0 6 質量%以下であり、

Mn含有量が1 . 5 質量%以下であり、

S含有量が0 . 0 0 3 質量%以下であり、

N含有量が0 . 0 0 3 質量%以下であり、

残部がFe及び不可避免的不純物からなることを特徴とする無方向性電磁鋼板。

【請求項2】

更に、

Mo : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 0 3 質量%、

Ti : 0 . 0 0 0 5 質量% ~ 0 . 0 0 7 質量%、及び

Nb : 0 . 0 0 0 2 質量% ~ 0 . 0 0 4 質量%

からなる群から選択された少なくとも一種を含有することを特徴とする請求項1に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項3】

更に、

V : 0 . 0 0 0 5 質量% ~ 0 . 0 0 5 質量%、  
 Z r : 0 . 0 0 0 3 質量% ~ 0 . 0 0 3 質量%、  
 C u : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 S n : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 N i : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 S b : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 希土類元素 : 0 . 0 0 0 2 質量% ~ 0 . 0 0 4 質量%、及び  
 C a : 0 . 0 0 0 5 質量% ~ 0 . 0 0 6 質量%

からなる群から選択された少なくとも一種を含有することを特徴とする請求項 1 に記載  
 の無方向性電磁鋼板。 10

【請求項 4】

更に、

V : 0 . 0 0 0 5 質量% ~ 0 . 0 0 5 質量%、  
 Z r : 0 . 0 0 0 3 質量% ~ 0 . 0 0 3 質量%、  
 C u : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 S n : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 N i : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 S b : 0 . 0 0 1 質量% ~ 0 . 2 質量%、  
 希土類元素 : 0 . 0 0 0 2 質量% ~ 0 . 0 0 4 質量%、及び  
 C a : 0 . 0 0 0 5 質量% ~ 0 . 0 0 6 質量%

からなる群から選択された少なくとも一種を含有することを特徴とする請求項 2 に記載  
 の無方向性電磁鋼板。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータの鉄心材料に好適な無方向性電磁鋼板に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、省エネルギー化の要請から、無方向性電磁鋼板が使用される電気機器の分野に関  
 し、冷暖房機器のモータ、電気自動車用の駆動モータ等に更なる消費電力の低減が求めら  
 れている。また、モータ駆動の制御として、電流の ON - OFF 制御に代わって、インバ  
 ータによる高調波が重畳された PWM (パルス幅変調 : pulse width modulation) 波形制  
 御が主流になってきている。このため、無方向性電磁鋼板には、優れた高周波特性が求め  
 られるようになってきている。 30

【0003】

従来、無方向性電磁鋼板の高周波鉄損を改善する目的で、S i、A l 及び C r の含有量  
 を増加させて固有抵抗を上昇させること、及び無方向性電磁鋼板の厚さを極力薄くするこ  
 とが行われている。これらによれば、渦電流損を低減することができる。 40

【0004】

しかしながら、C r が含有されている無方向性電磁鋼板では、製造過程、製造後の加工  
 過程等において、C r 系炭化物が析出し、鉄損が上昇して劣化しまう。製造過程の焼鈍中  
 に C r 系炭化物が析出することがある。また、無方向性電磁鋼板を使用する顧客において  
 、打ち抜き油の燃焼消失、分割コアを製造するための焼きばめ、歪取焼鈍等が行われるこ  
 とがある。これらの加工等は 200 ~ 750 程度の比較的低い温度で行われ、その際  
 に結晶粒界に C r 系炭化物が析出することがある。 40

【0005】

そこで、C r が含有されている無方向性電磁鋼板における C r 系炭化物の析出を抑制す  
 るために、M o を含有させる技術が提案されている (特許文献 1)。しかしながら、この  
 技術では、高価な M o の含有量が 0 . 0 5 質量%以上となっており、材料コストが著しく 50

上昇してしまう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2002-294417号公報

【特許文献2】特開2007-162062号公報

【特許文献3】特開平6-108149号公報

【特許文献4】特開2002-241907号公報

【特許文献5】特表2007-516345号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、コストの上昇を抑えながら、より一層高周波特性を良好にすることができる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】

【0008】

本発明の要旨は、以下の通りである。

【0009】

(1) Cr: 0.3質量% ~ 5.3質量%、

Si: 1.5質量% ~ 4質量%、

Al: 0.4質量% ~ 3質量%、及び

W: 0.0003質量% ~ 0.01質量%

を含有し、

C含有量が0.006質量%以下であり、

Mn含有量が1.5質量%以下であり、

S含有量が0.003質量%以下であり、

N含有量が0.003質量%以下であり、

残部がFe及び不可避免的不純物からなることを特徴とする無方向性電磁鋼板。

20

【0010】

(2) 更に、

Mo: 0.001質量% ~ 0.03質量%、

Ti: 0.0005質量% ~ 0.007質量%、及び

Nb: 0.0002質量% ~ 0.004質量%

からなる群から選択された少なくとも一種を含有することを特徴とする(1)に記載の無方向性電磁鋼板。

30

【0011】

(3) 更に、

V: 0.0005質量% ~ 0.005質量%、

Zr: 0.0003質量% ~ 0.003質量%、

Cu: 0.001質量% ~ 0.2質量%、

Sn: 0.001質量% ~ 0.2質量%、

Ni: 0.001質量% ~ 0.2質量%、

Sb: 0.001質量% ~ 0.2質量%、

希土類元素: 0.0002質量% ~ 0.004質量%、及び

Ca: 0.0005質量% ~ 0.006質量%

からなる群から選択された少なくとも一種を含有することを特徴とする(1)又は(2)に記載の無方向性電磁鋼板。

40

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、Crが含有されていても、適切な量のWが含有されているため、脆化

50

を回避しながら固有抵抗を増大させることができると共に、低コストでCr系炭化物の析出及び磁気時効を抑制して高周波特性を向上することができる。

【発明を実施するための形態】

【0013】

Crは、Si及びAlと同様に、無方向性電磁鋼板の固有抵抗を増大させる。また、Crは、Si及びAlとは異なり、無方向性電磁鋼板を脆化させにくい。その一方で、Crが含まれる無方向性電磁鋼板、特にCr含有量が0.3質量%以上の無方向性電磁鋼板では、200～700程度の温度でCr系炭化物が析出しやすい。Cr系炭化物は結晶粒界に薄片状に析出し、磁壁移動の妨げとなる。このため、特に400Hz以上の高周波鉄損を著しく劣化させる。Cr系炭化物は、750以上の高温では析出せず、200～700程度の低温で析出する。

10

【0014】

そこで、本発明者らは、 $(Cr, Fe)_7C_3$ 等のCr系炭化物の析出を抑制する技術について鋭意検討を行った。この結果、Crの他にWが含まれている無方向性電磁鋼板では、WとCrとの相互作用により、Cr系炭化物の析出が抑制され、鉄損の劣化が抑制されることが判明した。この理由は現時点では明確ではないものの、Cr系炭化物の析出挙動に、炭化物形成元素であるWが有効に作用するためであると考えられる。更に、Cr及びWの他に、Mo、Ti、及び/又はNbが含まれていると、これらの元素とCrとの相互作用により、Cr系炭化物の析出がより一層抑制されることも判明した。この理由も現時点では明確ではないものの、Cr系炭化物の析出挙動に、炭化物形成元素であるMo、Ti、及び/又はNbが有効に作用するためであると考えられる。

20

【0015】

なお、詳細は後述するが、Cr含有量が低い無方向性電磁鋼板にWが含まれていると、W系炭化物が析出してしまい、800～1100程度の温度での再結晶焼鈍が行われても、結晶の成長が阻害されて所望のサイズの結晶粒が得られない。Mo、Ti、及びNbについても同様である。従って、Cr含有量は、所定の値以上であることが重要である。なお、上記のように、Cr系炭化物が析出する温度は低いため、800～1100程度の温度での再結晶焼鈍では、Cr系炭化物は析出しない。従って、結晶粒の成長はCr系炭化物によっては阻害されにくい。

【0016】

また、本発明者らは、適量のCr及びWが含まれている無方向性電磁鋼板では、例えば200以下でのいわゆる磁気時効、すなわち $Fe_3C$ (セメントイト)の析出も抑制されることを見出した。本発明者らは、更に適量のMo、Ti、及び/又はNbが含まれていると、 $Fe_3C$ の析出がより一層抑制されることも見出した。この磁気時効は、モータの回転中の温度上昇に伴って徐々に鉄損が劣化する現象であり、予め磁気時効が生じにくくしておくことが極めて好ましい。

30

【0017】

以下、本発明の実施形態について更に詳細に説明する。

【0018】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、Cr:0.3質量%～5.3質量%、Si:1.5質量%～4質量%、Al:0.4質量%～3質量%、及びW:0.0003質量%～0.01質量%を含有する。また、C含有量が0.006質量%以下であり、Mn含有量が1.5質量%以下であり、S含有量が0.003質量%以下であり、N含有量が0.003質量%以下である。そして、残部がFe及び不可避免的不純物からなる。

40

【0019】

C含有量が0.006質量%超であると、適量のW等が含まれていてもCr系炭化物の析出を十分に抑制することが困難である。そして、析出したCr系炭化物の影響により高周波特性、特に低温での高周波特性が劣化する。また、Cは磁気時効の原因ともなる。従って、C含有量は0.006質量%以下とする。一方、工業的にC含有量を0.0005質量%未満まで低下させるためには、多大なコストを要する。従って、C含有量は0.

50

0.005質量%以上であることが好ましい。

【0020】

Crは脆化を回避しながら無方向性電磁鋼板の固有抵抗を増大させる。Cr含有量が0.3質量%未満であると、この効果を十分に得ることが困難である。また、Cr含有量が0.3質量%未満であると、W等の炭化物が析出しやすくなり、再結晶焼鈍における結晶粒の成長が阻害されやすくなる。一方、Cr含有量が5.3質量%超であると、適量のW等が含有されていてもCr系炭化物の析出を十分に抑制することが困難である。そして、析出したCr系炭化物の影響により高周波特性、特に低温での高周波特性が劣化する。従って、Cr含有量は0.3質量%～5.3質量%とする。なお、上記の効果を十分に得るために、Cr含有量は0.5質量%以上であることが好ましく、1.6質量%以上であることがより好ましい。また、Cr系炭化物の析出を低減するために、Cr含有量は5.0質量%以下であることが好ましく、2.5質量%以下であることがより好ましく、2.1質量%以下であることがより一層好ましい。

10

【0021】

Siは固有抵抗を増大させて高周波鉄損を改善する。Si含有量が1.5質量%未満であると、この効果を十分に得ることが困難である。一方、Si含有量が4質量%超であると、脆化により冷間加工が困難となる。従って、Si含有量は1.5質量%～4質量%とする。なお、高周波鉄損をより一層低下させるために、Si含有量は2質量%超であることが好ましい。

【0022】

20

Alは固有抵抗を増大させて高周波鉄損を改善する。Al含有量が0.4質量%未満であると、この効果を十分に得ることが困難である。一方、Al含有量が3質量%超であると、脆化により冷間加工が困難となる。また、Al含有量が高いほど、磁束密度が低下して劣化する傾向にある。従って、Al含有量は0.4質量%～3質量%とする。

【0023】

Mn含有量が1.5質量%超であると、脆性が顕著となる。従って、Mn含有量は1.5質量%以下とする。その一方で、Mn含有量が0.05質量%以上であると、固有抵抗を効果的に増大させて鉄損を減少させる。従って、Mn含有量は0.05質量%以上であることが好ましい。

【0024】

30

S含有量が0.003質量%超であると、MnS等の硫化物の形成が顕著となり、これに伴って磁壁の移動が阻害されて磁気特性が劣化する。従って、S含有量は0.003質量%以下とする。一方、工業的にS含有量を0.0002質量%未満まで低下させるためには、多大なコストを要する。従って、S含有量は0.0002質量%以上であることが好ましい。

【0025】

N含有量が0.003質量%超であると、窒化物の形成が顕著となり、これに伴って磁気特性が劣化する。また、N含有量が0.003質量%超であると、鋼の鑄造時にブリストアと称されるふくれ状の表面欠陥が生じることがある。従って、N含有量は0.003質量%以下とする。一方、工業的にN含有量を0.0004質量%未満まで低下させるためには、多大なコストを要する。従って、N含有量は0.0004質量%以上であることが好ましい。

40

【0026】

WはCと反応して炭化物を形成し、Cr系炭化物の析出を抑制する。Wは磁気時効を抑制することもできる。W含有量が0.0003質量%未満であると、これらの効果を十分に得ることが困難であり、多くのCr系炭化物が粒界等に析出する。一方、W含有量が0.01質量%超であると、W系炭化物の量が過剰となって磁性が低下する。従って、W含有量は0.0003質量%～0.01質量%とする。Cr系炭化物の析出をより一層抑制するために、W含有量は0.0005質量%以上であることが好ましい。また、W含有量が0.005質量%であれば十分にCr系炭化物の析出を抑制することができるため、コ

50

ストの面からW含有量は0.005質量%以下であることが好ましい。なお、Si含有量が2質量%以下の無方向性電磁鋼板において、Cr含有量が0.3質量%未満であると、W系炭化物の析出に伴って結晶粒の成長が阻害されて磁性が低下する。従って、Si含有量が2質量%以下の無方向性電磁鋼板にWを含有させる場合には、Cr含有量が0.3質量%以上であることが重要である。

【0027】

このような本実施形態に係る無方向性電磁鋼板によれば、Crが含有されていても、適切な量のWが含有されているため、脆化を回避しながら固有抵抗を増大させることができると共に、低コストでCr系炭化物の析出及び磁気時効を抑制して高周波特性を向上することができる。従って、本実施形態は高周波用途に好適である。

10

【0028】

Crをほとんど含有しない低Si系の無方向性電磁鋼板では、W系炭化物の析出に伴う結晶粒の成長が阻害されるが、本実施形態では、0.3質量%以上のCrが含有されているため、W系炭化物が極めて析出しにくい。このため、Wを積極的に活用することで、Cr系炭化物の析出を抑制して磁気特性を改善することができる。

【0029】

なお、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、更に、Mo:0.001質量%~0.03質量%、Ti:0.0005質量%~0.007質量%、及びNb:0.0002質量%~0.004質量%からなる群から選択された少なくとも一種を含有することが好ましい。

20

【0030】

Moは、Wと同様に、Cと反応して炭化物を形成し、Cr系炭化物の析出を抑制する。Moも磁気時効を抑制することができる。Mo含有量が0.001質量%未満であると、これらの効果を十分に得にくい。一方、Mo含有量が0.03質量%超であると、Mo系炭化物の量が過剰となって磁性が低下する。従って、Mo含有量は0.001質量%~0.03質量%であることが好ましい。Cr系炭化物の析出をより一層抑制するために、Mo含有量は0.002質量%以上であることがより好ましい。また、Mo含有量が0.02質量%であれば十分にCr系炭化物の析出を抑制することができるため、コストの面からMo含有量は0.02質量%以下であることがより好ましい。

【0031】

Tiも、Wと同様に、Cと反応して炭化物を形成し、Cr系炭化物の析出を抑制する。Tiも磁気時効を抑制することができる。Ti含有量が0.0005質量%未満であると、これらの効果を十分に得にくい。一方、Ti含有量が0.007質量%超であると、Ti系炭化物の量が過剰となって磁性が低下する。従って、Ti含有量は0.0005質量%~0.007質量%であることが好ましい。Cr系炭化物の析出をより一層抑制するために、Ti含有量は0.0007質量%以上であることがより好ましい。また、Ti系炭化物の過剰な析出を抑制するために、Ti含有量は0.005質量%以下であることがより好ましい。

30

【0032】

Nbも、Wと同様に、Cと反応して炭化物を形成し、Cr系炭化物の析出を抑制する。Nbも磁気時効を抑制することができる。Nb含有量が0.0002質量%未満であると、これらの効果を十分に得にくい。一方、Nb含有量が0.004質量%超であると、Nb系炭化物の量が過剰となって、再結晶焼鈍における結晶粒の成長が阻害される。従って、Nb含有量は0.0002質量%~0.004質量%であることが好ましい。Cr系炭化物の析出をより一層抑制するために、Nb含有量は0.0003質量%以上であることがより好ましい。また、Nb系炭化物の過剰な析出を抑制するために、Nb含有量は0.0035質量%以下であることがより好ましい。

40

【0033】

なお、上記のように、Mo、Ti及びNbは、Wと同様の作用を呈するが、WはMo、Ti及びNbよりも効果的である。また、上記の範囲のMo、Ti及び/又はNbが含有

50

されていると、これらのいずれもが含まれていない場合と比較して、W系炭化物による再結晶焼鈍における結晶粒の成長の障害がより一層生じにくくなる。従って、Mo、Ti及びNbからなる群から選択された少なくとも一種が含有されていることが好ましく、これら3種の元素のすべてが含有されていることが特に好ましい。Wの他にMo、Ti及び/又はNbが含有されている場合に、特に効果的にCr系炭化物の析出及びセメンタイトの析出(磁気時効)が抑制されるからである。

#### 【0034】

なお、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板に、更に、V:0.0005質量%~0.005質量%、Zr:0.0002質量%~0.003質量%、Cu:0.001質量%~0.2質量%、Sn:0.001質量%~0.2質量%、Ni:0.001質量%~0.2質量%、Sb:0.001質量%~0.2質量%、REM(希土類元素):0.0002質量%~0.004質量%、及びCa:0.0005質量%~0.006質量%からなる群から選択された少なくとも一種が含有されていてもよい。

10

#### 【0035】

Vも、Wと同様に、Cと反応して炭化物を形成し、Cr系炭化物の析出を抑制する。V含有量が0.0005質量%未満であると、この効果を十分に得にくい。一方、V含有量が0.005質量%超であっても、含有量に見合うだけの効果が得られず、コストの上昇が著しくなる。また、V系炭化物の量が過剰となって、再結晶焼鈍における結晶粒の成長が阻害されることがある。従って、V含有量は0.0005質量%~0.005質量%であることが好ましい。

20

#### 【0036】

Zrも、Wと同様に、Cと反応して炭化物を形成し、Cr系炭化物の析出を抑制する。Zr含有量が0.0002質量%未満であると、この効果を十分に得にくい。一方、Zr含有量が0.003質量%超であっても、含有量に見合うだけの効果が得られず、コストの上昇が著しくなる。また、Zr系炭化物の量が過剰となって、再結晶焼鈍における結晶粒の成長が阻害されることがある。従って、Zr含有量は0.0002質量%~0.003質量%であることが好ましい。

#### 【0037】

Cu、Sn、Ni及びSbは、集合組織を改善する。これらの元素の各々に関し、含有量が0.001質量%未満であると、この効果を十分に得にくく、含有量が0.2質量%超であると、コストが増大する。従って、Cu、Sn、Ni及びSbの含有量は、それぞれ、0.001質量%~0.2質量%であることが好ましい。

30

#### 【0038】

REM及びCaは、粗大なオキシサルファイドを形成してSを無害化する。REM含有量が0.0002質量%未満である場合、及びCa含有量が0.0005質量%未満である場合、この効果を十分に得にくい。一方、REM含有量が0.004質量%超の場合、及びCa含有量が0.006質量%超の場合、コストが増大する。従って、REM含有量は0.0002質量%~0.004質量%であることが好ましく、Ca含有量は0.0005質量%~0.006質量%であることが好ましい。

#### 【0039】

このように、V及び/又はZrもが含有されていると、Cr系炭化物の析出を更に抑制することができ、例えば750以下の低温での磁気時効をより一層抑制することができる。また、これらW、Mo、Ti、Nb、V、Zr等は、溶鋼への添加等により無方向性電磁鋼板に含有させることができる。このため、このような無方向性電磁鋼板を工業的に生産することも十分に可能である。

40

#### 【0040】

次に、無方向性電磁鋼板を製造する方法について説明する。

#### 【0041】

先ず、通常の方法で、成分を調整することにより、上記の組成の溶鋼を作製し、この溶鋼から鋳片(スラブ)を作製し、スラブ加熱を行い、熱間圧延を行う。スラブ加熱の温度

50

は特に制限しないが、微細析出物の形成を抑制するために、例えば950 ~ 1230 程度の低い温度であることが好ましい。熱間圧延により得られる熱延板の厚さは特に制限しないが、例えば0.8 mm ~ 3.0 mm程度とする。

【0042】

次いで、熱延板の焼鈍（熱延板焼鈍）を必要に応じて行う。熱延板焼鈍を行うことにより、磁束密度を向上し、ヒステリシス損を低減することができる。熱延板焼鈍の温度は特に制限しないが、例えば、800 ~ 1100 程度とすることが好ましい。

【0043】

その後、冷間圧延を行う。冷間圧延により得られる冷延板の厚さは特に制限しないが、より高い高周波磁気特性を得るために、例えば0.1 mm ~ 0.35 mm程度の薄い厚さであることが好ましい。冷延板の厚さを0.35 mm超とすると、渦電流損が大きくなって高周波鉄損が劣化しやすい。また、冷延板の厚さを0.1 mm未満とすると、生産性が低下しやすい。

【0044】

冷間圧延後には、冷延板の脱脂を行い、再結晶焼鈍を行うことにより、結晶粒を成長させる。再結晶焼鈍では、例えば連続焼鈍を行う。焼鈍温度は特に制限しないが、例えば800 ~ 1100 程度とする。再結晶焼鈍後の結晶粒の粒径は30 μm ~ 120 μm程度であることが好ましい。なお、本実施形態では、再結晶焼鈍の結果、鋼板の全面がフェライト単相の再結晶組織となっていることが好ましい。

【0045】

続いて、所定の塗布液の塗布及び焼き付けを行うことにより、絶縁被膜を形成する絶縁被膜としては、例えば有機絶縁被膜、無機絶縁被膜、又は無機物質及び有機物質を含む混合絶縁被膜を形成する。

【0046】

このようにして無方向性電磁鋼板を製造することができる。

【0047】

製造された無方向性電磁鋼板は、例えば、出荷され、顧客において加工される。この加工では、例えば、鉄心用形状への打ち抜き、積層、焼きばめ、700 ~ 800 程度での歪取焼鈍等が行われる。これら一連の加工により、モータのコアを形成することができる。なお、積層後の歪取焼鈍が行われない無方向性電磁鋼板はフロプロセス材とよばれることがあり、歪取焼鈍が行われる無方向性電磁鋼板はセミプロセス材とよばれることがある。

【実施例】

【0048】

次に、本発明者らが行った実験について説明する。これらの実験における条件等は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した例であり、本発明は、これらの例に限定されるものではない。

【0049】

まず、実験室の真空炉を用いて、表1及び表2に示す成分を含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなる溶鋼を作製し、この溶鋼の鑄造を行って素鋼材を得た。表1中で太線で囲まれている数値は、当該数値が本発明で規定する範囲から外れていることを示す。次いで、素鋼材の熱間圧延を行って、厚さが2 mmの熱延板を得た。その後、1000 で1分間、N<sub>2</sub> ガス雰囲気中で熱延板焼鈍を行った。続いて、酸洗及び冷間圧延を行って、厚さが0.30 mmの冷延板を得た。次いで、50%のH<sub>2</sub> ガス及び50% N<sub>2</sub> ガスの混合ガス雰囲気中で再結晶焼鈍を行った。この再結晶焼鈍では、1000 で30秒間の均熱処理を行った。その後、再結晶焼鈍後の鋼板から一辺の長さが100 mmの試料を打ち抜いた。

【0050】

【 表 1 】

試料No.	成分 (質量%)														備考
	C	Cr	Si	Al	Mn	S	N	W	Mo	Ti	Nb	V	Zr		
1	0.0005	2.1	2.3	1.2	0.6	0.001	0.0014	0.004	0.01	0.004	0.002	0.001	0.0006	本発明例	
2	0.0058	2.1	2.3	1.2	0.6	0.001	0.0014	0.004	0.01	0.004	0.002	0.001	0.0006	本発明例	
3	0.0062	2.1	2.3	1.2	0.6	0.001	0.0014	0.004	0.01	0.004	0.002	0.001	0.0006	比較例	
4	0.0095	2.1	2.3	1.2	0.6	0.001	0.0014	0.004	0.01	0.004	0.002	0.001	0.0006	比較例	
5	0.0035	0.2	1.9	1.4	0.1	0.003	0.0005	0.005	0.001	0.002	0.0002	0.005	0.0003	比較例	
6	0.0035	0.4	1.9	1.4	0.1	0.003	0.0005	0.005	0.001	0.002	0.0002	0.005	0.0003	本発明例	
7	0.0035	1.6	1.9	1.4	0.1	0.003	0.0005	0.005	0.001	0.002	0.0002	0.005	0.0003	本発明例	
8	0.0035	5.0	1.9	1.4	0.1	0.003	0.0005	0.005	0.001	0.002	0.0002	0.005	0.0003	本発明例	
9	0.0035	5.4	1.9	1.4	0.1	0.003	0.0005	0.005	0.001	0.002	0.0002	0.005	0.0003	比較例	
10	0.0035	8.5	1.9	1.4	0.1	0.003	0.0005	0.005	0.001	0.002	0.0002	0.005	0.0003	比較例	
11	0.0057	2.5	3.2	0.7	0.2	0.002	0.0014	0.003	0.0003	0.001	0	0.0001	0	比較例	
12	0.0057	2.5	3.2	0.7	0.2	0.002	0.0014	0.003	0.0003	0.001	0	0.0001	0	本発明例	
13	0.0057	2.5	3.2	0.7	0.2	0.002	0.0014	0.003	0.0003	0.001	0	0.0001	0	本発明例	
14	0.0057	2.5	3.2	0.7	0.2	0.002	0.0014	0.003	0.0003	0.001	0	0.0001	0	本発明例	
15	0.0057	2.5	3.2	0.7	0.2	0.002	0.0014	0.010	0.0003	0.001	0	0.0001	0	本発明例	
16	0.0057	2.5	3.2	0.7	0.2	0.002	0.0014	0.013	0.0003	0.001	0	0.0001	0	比較例	
17	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.0008	0.001	0.004	0.0001	0.0001	本発明例	
18	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.0012	0.001	0.004	0.0001	0.0001	本発明例	
19	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.003	0.001	0.004	0.0001	0.0001	本発明例	
20	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.020	0.001	0.004	0.0001	0.0001	本発明例	
21	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.030	0.001	0.004	0.0001	0.0001	本発明例	
22	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.33	0.001	0.004	0.0001	0.0001	比較例	
23	0.0042	5.0	1.5	0.4	0.5	0.002	0.0027	0.003	0.05	0.001	0.004	0.0001	0.0001	比較例	
24	0.0038	1.1	3.3	2.5	1.4	0.002	0.0011	0.01	0.02	0.0003	0.0001	0.003	0.002	本発明例	
25	0.0038	1.1	3.3	2.5	1.4	0.002	0.0011	0.01	0.02	0.0007	0.0001	0.003	0.002	本発明例	
26	0.0038	1.1	3.3	2.5	1.4	0.002	0.0011	0.01	0.02	0.0032	0.0001	0.003	0.002	本発明例	
27	0.0038	1.1	3.3	2.5	1.4	0.002	0.0011	0.01	0.02	0.0069	0.0001	0.003	0.002	本発明例	
28	0.0038	1.1	3.3	2.5	1.4	0.002	0.0011	0.01	0.02	0.0074	0.0001	0.003	0.002	比較例	
29	0.0015	1.6	2.8	0.6	0.1	0.001	0.003	0.0007	0.005	0.003	0.0001	0	0.001	本発明例	
30	0.0015	1.6	2.8	0.6	0.1	0.001	0.003	0.0007	0.005	0.003	0.0002	0	0.001	本発明例	
31	0.0015	1.6	2.8	0.6	0.1	0.001	0.003	0.0007	0.005	0.003	0.0020	0	0.001	本発明例	
32	0.0015	1.6	2.8	0.6	0.1	0.001	0.003	0.0007	0.005	0.003	0.0040	0	0.001	本発明例	
33	0.0015	1.6	2.8	0.6	0.1	0.001	0.003	0.0007	0.005	0.003	0.0045	0	0.001	比較例	
34	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0003	0.001	本発明例	
35	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0005	0.001	本発明例	
36	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0007	0.001	本発明例	
37	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0049	0.001	本発明例	
38	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0056	0.001	比較例	
39	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0001	0.0001	本発明例	
40	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0001	0.0003	本発明例	
41	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0001	0.0015	本発明例	
42	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0001	0.0028	本発明例	
43	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0002	0.0028	本発明例	
44	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.0001	0.0035	比較例	

【 0 0 5 1 】

【 表 2 】

試料No.	成分 (質量%)																備考			
	C	Cr	Si	Al	Mn	S	N	W	Mo	Ti	Nb	V	Zr	Cu	Sn	Ni		Sb	REM	Ca
45	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.002	0.0028	0.1	0.0001	0.0002	0	0	0	本発明例
46	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.002	0.0028	0.0005	0.05	0.0002	0.0002	0	0.0002	本発明例
47	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.002	0.0028	0	0	0.2	0.0002	0	0	本発明例
48	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.002	0.0028	0.0001	0.0001	0.0001	0.06	0	0	本発明例
49	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.002	0.0028	0.0001	0.0002	0.0001	0	0.0005	0.0001	本発明例
50	0.0051	0.5	4.0	1.7	0.3	0.001	0.0004	0.001	0.01	0.002	0.0007	0.002	0.0028	0	0	0	0.0001	0	0.0003	本発明例

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

そして、各試料について鉄損及び磁束密度を測定した。鉄損としては、周波数が400 Hz、最大磁束密度が1.0 Tの条件下での鉄損(W10/400)を測定した。また、圧延方向に磁化したときの値とこれに垂直な方向(板幅方向)に磁化したときの値との平均値を算出した。また、磁束密度としては、周波数が50 Hz、最大磁化力が5000 A/mの条件下での磁束密度(B50)を測定した。これらの結果を表3の「熱処理前」の欄に示す。

【0053】

鉄損及び磁束密度の測定後、450 で2時間、N<sub>2</sub>ガス雰囲気中で焼鈍を行った。そして、再度、各試料について鉄損及び磁束密度を測定した。この結果を表3の「熱処理後」の欄に示す。

【0054】

【表3】

試料No.	熱処理前		熱処理後		備考
	W10/400 (W/kg)	B50 (T)	W10/400 (W/kg)	B50 (T)	
1	13.4	1.665	13.4	1.665	本発明例
2	13.4	1.664	13.4	1.664	本発明例
3	13.5	1.662	14.3	1.661	比較例
4	13.7	1.660	15.9	1.657	比較例
5	15.9	1.687	15.9	1.687	比較例
6	14.6	1.687	14.6	1.687	本発明例
7	13.9	1.635	13.9	1.635	本発明例
8	12.6	1.570	12.7	1.567	本発明例
9	12.6	1.569	13.6	1.565	比較例
10	11.9	1.541	14.9	1.536	比較例
11	13.1	1.627	15.7	1.627	比較例
12	13.1	1.627	13.4	1.627	本発明例
13	13.1	1.627	13.3	1.627	本発明例
14	13.1	1.627	13.2	1.627	本発明例
15	13.2	1.627	13.2	1.627	本発明例
16	14.1	1.627	14.1	1.627	比較例
17	13.5	1.602	13.7	1.598	本発明例
18	13.5	1.602	13.7	1.602	本発明例
19	13.5	1.602	13.7	1.602	本発明例
20	13.5	1.602	13.7	1.602	本発明例
21	13.5	1.602	13.6	1.602	本発明例
22	14.3	1.603	14.3	1.600	比較例
23	16.7	1.604	16.7	1.599	比較例
24	12.6	1.611	12.8	1.608	本発明例
25	12.6	1.611	12.8	1.611	本発明例
26	12.6	1.611	12.8	1.611	本発明例
27	12.7	1.611	12.8	1.611	本発明例
28	13.1	1.612	13.6	1.612	比較例
29	13.4	1.639	13.5	1.636	本発明例
30	13.4	1.639	13.5	1.639	本発明例
31	13.4	1.639	13.5	1.639	本発明例
32	13.5	1.639	13.5	1.639	本発明例
33	14.8	1.640	14.8	1.640	比較例
34	10.9	1.621	11.0	1.619	本発明例
35	10.9	1.621	10.9	1.621	本発明例
36	10.9	1.621	10.9	1.621	本発明例
37	10.9	1.621	10.9	1.621	本発明例
38	11.5	1.621	11.5	1.621	比較例
39	10.9	1.595	11.0	1.595	本発明例
40	10.9	1.595	10.9	1.595	本発明例
41	10.9	1.595	10.9	1.595	本発明例
42	10.9	1.595	10.9	1.595	本発明例
43	10.9	1.595	10.9	1.595	本発明例
44	11.3	1.595	11.3	1.595	比較例
45	10.9	1.602	10.9	1.602	本発明例
46	10.9	1.605	10.9	1.605	本発明例
47	10.9	1.604	10.9	1.604	本発明例
48	10.9	1.607	10.9	1.607	本発明例
49	10.9	1.611	10.9	1.611	本発明例
50	10.9	1.601	10.9	1.601	本発明例

10

20

30

40

## 【0055】

表3に示すように、本発明の範囲に属する試料No. 1~No. 2、No. 6~No. 8、No. 12~No. 15、No. 17~No. 21、No. 24~No. 27、No. 29~No. 32、No. 34~No. 37、No. 39~No. 43、及びNo. 45~No. 50では、熱処理前後において、低い鉄損を得ることができた。つまり、熱処理前においては、十分な大きさの結晶粒が得られたため低い鉄損を得ることができ、熱処理後においては、Cr系炭化物の析出等の抑制により低い鉄損を維持することができた。更に、試料No. 43と試料No. 45~No. 50との比較の結果から、Cu、Sn、Ni、Sb、REM及びCaからなる群らが選択された少なくとも一種が含有されている場合に、磁束密度が向上することが明らかとなった。

50

## 【 0 0 5 6 】

一方、試料 No. 3 ~ No. 4 では、C 含有量が高すぎるため、熱処理に伴い多量の炭化物が析出し、鉄損の劣化が顕著であった。試料 No. 5 では、Cr 含有量が低すぎるため、鉄損が大きかった。試料 No. 9 ~ No. 10 では、Cr 含有量が高すぎるため、熱処理に伴い多量の Cr 系炭化物が析出し、鉄損の劣化が顕著であった。試料 No. 11 では、W 含有量が低すぎるため、熱処理に伴い多量の Cr 系炭化物が析出し、鉄損の劣化が顕著であった。試料 No. 16 では、W 含有量が高すぎるため、鉄損が大きかった。試料 No. 22 ~ No. 23 では、Mo 含有量が高すぎるため、鉄損が大きかった。試料 No. 28 では、Ti 含有量が高すぎるため、鉄損が大きかった。試料 No. 33 では、Nb 含有量が高すぎるため、鉄損が大きかった。試料 No. 38 では、V 含有量が高すぎるため、V 系炭化物が過剰に析出し、再結晶焼鈍における結晶粒の成長が阻害され、V 以外の成分が同等の試料 No. 34 ~ No. 37 よりも鉄損が高くなってしまった。試料 No. 44 では、Zr 含有量が高すぎるため、Zr 系炭化物が過剰に析出し、再結晶焼鈍における結晶粒の成長が阻害され、Zr 以外の成分が同等の試料 No. 39 ~ No. 43 よりも鉄損が高くなってしまった。なお、試料 No. 38 及び No. 44 の鉄損それ自体は、一部の本発明例よりも低くなっているが、含有量に見合うだけの効果は得られておらず、コストの上昇が著しい。

10

## 【 0 0 5 7 】

また、表 3 に示すように、W 含有量のみが相違する試料 No. 11 ~ No. 16 の間では、W 含有量が本発明範囲の下限未満の試料 No. 11 において、熱処理に伴う鉄損の劣化が顕著であった。このことから、W が、熱処理に伴う鉄損の劣化を抑制していることが明らかである。また、W 含有量が低めの試料 No. 30 ~ No. 32 においても、適量の Mo、Ti 及び Nb が含有されていたため、熱処理に伴う鉄損の劣化がほとんど抑制された。このことから、所定量の Mo、Ti 及び Nb が含有されていると、特に効果が大きいことが明らかである。更に、試料 No. 34 ~ No. 37、及び No. 39 ~ No. 43 では、適量の V 及び Zr が含まれていたため、鉄損が特に低かった。

20

## 【 産業上の利用可能性 】

## 【 0 0 5 8 】

本発明は、例えば、電磁鋼板製造産業及び電磁鋼板利用産業において利用することができる。

30

---

フロントページの続き

- (72)発明者 茂木 尚  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 小菅 健司  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 脇坂 岳顕  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内

審査官 伊藤 真明

- (56)参考文献 特開2002-212689(JP,A)  
特開平02-093043(JP,A)  
特開2001-288542(JP,A)  
特開2002-212688(JP,A)  
特開2003-247052(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
C22C 38/00-38/60