

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6478004号  
(P6478004)

(45) 発行日 平成31年3月6日(2019.3.6)

(24) 登録日 平成31年2月15日(2019.2.15)

(51) Int.Cl.			F I		
C 2 2 C	38/00	(2006.01)	C 2 2 C	38/00	3 0 3 U
C 2 2 C	38/60	(2006.01)	C 2 2 C	38/60	
C 2 1 D	8/12	(2006.01)	C 2 1 D	8/12	A
C 2 1 D	9/46	(2006.01)	C 2 1 D	9/46	5 0 1 A
H 0 1 F	1/147	(2006.01)	H 0 1 F	1/147	1 7 5

請求項の数 6 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2018-560686 (P2018-560686)  
 (86) (22) 出願日 平成30年7月19日(2018.7.19)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2018/027078  
 審査請求日 平成30年11月16日(2018.11.16)  
 (31) 優先権主張番号 特願2017-139765 (P2017-139765)  
 (32) 優先日 平成29年7月19日(2017.7.19)  
 (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  
 新日鐵住金株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号  
 (74) 代理人 100106909  
 弁理士 棚井 澄雄  
 (74) 代理人 100175802  
 弁理士 寺本 光生  
 (74) 代理人 100134359  
 弁理士 勝俣 智夫  
 (74) 代理人 100188592  
 弁理士 山口 洋  
 (72) 発明者 名取 義顕  
 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】 無方向性電磁鋼板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

化学組成が、質量%で、

- C : 0 . 0 0 1 5 % ~ 0 . 0 0 4 0 %、
- S i : 3 . 5 % ~ 4 . 5 %、
- A l : 0 . 6 5 % 以下、
- M n : 0 . 2 % ~ 2 . 0 %、
- S n : 0 % ~ 0 . 2 0 %、
- S b : 0 % ~ 0 . 2 0 %、
- P : 0 . 0 0 5 % ~ 0 . 1 5 0 %、
- S : 0 . 0 0 0 1 % ~ 0 . 0 0 3 0 %、
- T i : 0 . 0 0 3 0 % 以下、
- N b : 0 . 0 0 5 0 % 以下、
- Z r : 0 . 0 0 3 0 % 以下、
- M o : 0 . 0 3 0 % 以下、
- V : 0 . 0 0 3 0 % 以下、
- N : 0 . 0 0 1 0 % ~ 0 . 0 0 3 0 %、
- O : 0 . 0 0 1 0 % ~ 0 . 0 5 0 0 %、
- C u : 0 . 1 0 % 未満、
- N i : 0 . 5 0 % 未満、

を含有し、残部がFe及び不純物からなり、  
 製品板厚が、0.10mm～0.30mmであり、  
 平均結晶粒径が、10μm～40μmであり、  
 鉄損W10/800が、50W/Kg以下であり、  
 引張強度が、580MPa～700MPaであり、  
 降伏比が、0.82以上である、  
 無方向性電磁鋼板。

【請求項2】

C、Ti、Nb、Zr、Vの含有量が、以下の式(1)で表される条件を満足する、請求項1に記載の無方向性電磁鋼板。

$$[C] \times ([Ti] + [Nb] + [Zr] + [V]) < 0.000010 \dots (1)$$

ここで、上記式(1)において、[X]との表記は、元素Xの含有量(単位:質量%)を表す。

【請求項3】

焼鈍温度750 以上900 以下、均熱時間10分～180分の範囲内となる焼鈍条件下での焼鈍によって、平均結晶粒径が、60μm～150μmであり、かつ、鉄損W10/400が、11W/Kg以下となる、請求項1又は2に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項4】

上降伏点及び下降伏点を有しており、上降伏点が下降伏点よりも5MPa以上高い、請求項1～3の何れか1項に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項5】

前記化学組成が、質量%で、  
 Sn:0.01%～0.20%、  
 Sb:0.01%～0.20%、  
 のいずれか一方または両方を含有する、  
 請求項1～4の何れか1項に記載の無方向性電磁鋼板。

【請求項6】

表面に更に絶縁被膜を有する、請求項1～5の何れか1項に記載の無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無方向性電磁鋼板に関する。

本願は、2017年07月19日に、日本に出願された特願2017-139765号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

昨今、地球環境問題が注目されており、省エネルギーへの取り組みに対する要求は、一段と高まってきている。なかでも電気機器の高効率化は、近年強く要望されている。このため、モータ又は発電機等の鉄心材料として広く使用されている無方向性電磁鋼板においても、磁気特性の向上に対する要請が更に強まっている。電気自動車やハイブリッド自動車用のモータ、及び、コンプレッサ用モータにおいては、その傾向が顕著である。

【0003】

上記のような各種モータのモータコアは、固定子であるステータ、及び、回転子であるロータから構成される。モータコアを構成するステータ及びロータに求められる特性は、互いに相違する。ステータには、優れた磁気特性(鉄損及び磁束密度)が特に求められるのに対し、ロータには、優れた機械特性(引張強度及び降伏比)が求められる。

【0004】

ステータとロータとでは求められる特性が異なる。そのため、ステータ用の無方向性電磁鋼板と、ロータ用の無方向性電磁鋼板と、を造り分ければ、それぞれの所望の特性を実現することができる。しかしながら、2種類の無方向性電磁鋼板を準備することは、歩留

10

20

30

40

50

まりの低下を招いてしまう。そこで、ロータに求められる優れた強度と、ステータに求められる低鉄損とを実現するために、強度に優れ、かつ、磁気特性にも優れた無方向性電磁鋼板が、従来検討されてきた。

【0005】

例えば、以下の特許文献1～特許文献3では、ステータに求められるような優れた磁気特性を実現しつつ、ロータに求められるような優れた強度を実現するために、鋼板の化学成分として、ケイ素(Si)を多く含有させるとともに、ニッケル(Ni)や銅(Cu)といった高強度化に寄与する元素を意図的に添加する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0006】

【特許文献1】日本国特開2004-300535号公報

【特許文献2】日本国特開2004-315956号公報

【特許文献3】日本国特開2008-50686号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、近年、電気自動車やハイブリッド自動車のモータに求められる省エネルギー特性を実現するには、上記特許文献1～特許文献3で開示されているような技術では、ステータ素材としての低鉄損化が不十分であった。

20

【0008】

また、上記特許文献1～特許文献3で開示されているようなNiやCuといった高強度化を促進する元素は高価であり、これらの元素を積極的に添加すると、無方向性電磁鋼板の製造コストは増大する。

【0009】

また、近年、電気自動車やハイブリッド自動車用のモータにおいて、モータ回転数を高速化することでモータトルクを稼ぐ設計が多くなされるようになり、ロータの更なる高強度化が強く求められている。モータの安全性を確保するためには、引張強度で示される破壊の限界特性だけでなく、疲労による破壊も避けるべきである。そのためには、単なる引張強度だけでなく、高い降伏応力を得ること(すなわち、高い降伏比を得ること)が重要となる。しかしながら、上記特許文献1～特許文献3に開示されている技術を用いたとしても、ロータの更なる高強度化・高降伏比化を図ることが困難である。

30

【0010】

本発明は、上記問題に鑑みてなされた。本発明の目的は、製造コストが抑制された、高強度かつ高降伏比の無方向性電磁鋼板を提供することである。

好ましくは、得られた高強度かつ降伏比の無方向性電磁鋼板を所望のモータコア形状(ロータ形状及びステータ形状)に打ち抜き、打ち抜いた無方向性電磁鋼板を複数枚積層して所望のモータコア形状(ロータ形状及びステータ形状)を形成し、そのうち、ステータ形状に積層したものに対して焼鈍を施した場合に、より一層優れた磁気特性を示す無方向性電磁鋼板を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、本発明者らは、鋭意検討を行った。具体的には、ロータ及びステータ用の部材を同一の無方向性電磁鋼板から打ち抜き、ロータ用の部材については、所望のロータ形状となるように積層した後に、積層体に対して焼鈍を行わなくとも、より一層優れた機械特性を有し、また、ステータ用の部材については、所望のステータ形状となるように積層した後に、積層体に対して焼鈍を行うことでより一層優れた磁気特性を実現する手段について、鋭意検討を行った。

【0012】

以下では、無方向性電磁鋼板を所望のステータ形状に打ち抜いてステータ用の部材とし

50

、打ち抜いたステータ用の部材を所望のステータ形状となるように積層した後に、得られた積層体に対して実施する焼鈍のことを、「コア焼鈍」と称する。

【0013】

同等の引張強度を有する無方向性電磁鋼板の中で、疲労強度の向上を目的として高い降伏比を実現するために、無方向性電磁鋼板が上降伏点を有するようにすることが、可能性として考えられる。

本発明者らは、炭素(C)の歪時効を活用して、無方向性電磁鋼板が上降伏点を有するように制御することに着目した。しかしながら、一般的に製造される無方向性電磁鋼板は、高純度であって歪時効の原因となるCの含有量が低い。特に、Siの含有量が3%以上である無方向性電磁鋼板では、Siが炭化物の生成を抑制することで、上降伏点を有しない。また、単に高強度化を目指して、C、チタン(Ti)、ニオブ(Nb)等の元素を意図的に含有させた無方向性電磁鋼板では、Cを多く含有することによって降伏現象は生じたとしても、炭化物がコア焼鈍時の粒成長を大幅に劣化させるので、コア焼鈍後の磁気特性が向上しない。

そのため、これまで、上降伏点を有し、かつコア焼鈍後の磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板を得ることは難しかった。

【0014】

かかる観点に基づき、本発明者らは更なる検討を行った。その結果、コストの高い元素を意図的に含有させず、かつ、高いSi含有量を有する無方向性電磁鋼板において、結晶粒径の更なる微細化を図ることで降伏現象を実現させることで、より一層優れた機械特性が得られることを知見した。さらに、この無方向性電磁鋼板において、コア焼鈍時の粒成長を阻害するような元素の含有を抑制することができれば、コア焼鈍後のより一層優れた磁気特性も同時に向上させることが可能となるとの知見を得るに至った。

上記知見に基づき完成された本発明の要旨は、以下の通りである。

【0015】

[1] 本発明の一態様に係る無方向性電磁鋼板は、化学組成が、質量%で、C: 0.0015%~0.0040%、Si: 3.5%~4.5%、Al: 0.65%以下、Mn: 0.2%~2.0%、Sn: 0%~0.20%、Sb: 0%~0.20%、P: 0.005%~0.150%、S: 0.0001%~0.0030%、Ti: 0.0030%以下、Nb: 0.0050%以下、Zr: 0.0030%以下、Mo: 0.030%以下、V: 0.0030%以下、N: 0.0010%~0.0030%、O: 0.0010%~0.0500%、Cu: 0.10%未満、Ni: 0.50%未満、を含有し、残部がFe及び不純物からなり、製品板厚が、0.10mm~0.30mmであり、平均結晶粒径が、10 $\mu$ m~40 $\mu$ mであり、鉄損W10/800が、50W/Kg以下であり、引張強度が、580MPa~700MPaであり、降伏比が、0.82以上である。

[2] 上記[1]に記載の無方向性電磁鋼板は、C、Ti、Nb、Zr、Vの含有量が、以下の式(1)で表される条件を満足してもよい。

$$[C] \times ([Ti] + [Nb] + [Zr] + [V]) < 0.000010 \dots (1)$$

ここで、上記式(1)において、[X]との表記は、元素Xの含有量(単位:質量%)を表す。

[3] 上記[1]または[2]に記載の無方向性電磁鋼板は、焼鈍温度750以上900以下、均熱時間10分~180分の範囲内となる焼鈍条件下での焼鈍によって、平均結晶粒径が、60 $\mu$ m~150 $\mu$ m、かつ、鉄損W10/400が、11W/Kg以下となってもよい。

[4] 上記[1]~[3]のいずれか1項に記載の無方向性電磁鋼板は、上降伏点及び下降伏点を有しており、上降伏点が下降伏点よりも5MPa以上高くてもよい。

[5] 上記[1]~[4]のいずれか1項に記載の無方向性電磁鋼板は、前記化学組成が、質量%で、Sn: 0.01%~0.20%、Sb: 0.01%~0.20%、のいずれか一方または両方を含有してもよい。

[6] 上記[1]~[5]のいずれか1項に記載の無方向性電磁鋼板は、表面に更に絶縁

10

20

30

40

50

被膜を有してもよい。

【発明の効果】

【0016】

本発明の上記態様によれば、製造コストが抑制され、かつ、機械特性及びコア焼鈍後の磁気特性により一層優れる無方向性電磁鋼板を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施形態に係る無方向性電磁鋼板の構造を模式的に示した説明図である。

【図2】同実施形態に係る無方向性電磁鋼板について説明するための説明図である。

10

【図3】同実施形態に係る無方向性電磁鋼板が示す応力 - ひずみ曲線について説明するための説明図である。

【図4】無方向性電磁鋼板が示す応力 - ひずみ曲線の一例を示した図である。

【図5】同実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造方法の流れの一例を示した流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

20

【0019】

(無方向性電磁鋼板について)

まず、図1～図5を参照しながら、本発明の一実施形態に係る無方向性電磁鋼板(本実施形態に係る無方向性電磁鋼板)について、詳細に説明する。

図1は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の構造を模式的に示した説明図である。図2は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板について説明するための説明図である。図3は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板が示す応力 - ひずみ曲線について説明するための説明図である。図4は、無方向性電磁鋼板が示す応力 - ひずみ曲線の一例を示した図である。図5は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造方法の流れの一例を示した流れ図である。

30

【0020】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、ステータ及びロータの双方を製造する際の素材として好適な無方向性電磁鋼板10である。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、図1に模式的に示したように、所定の化学成分を含有し、所定の機械特性及び磁気特性を示す地鉄11を有している。また、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、地鉄11の表面に、更に絶縁被膜13を有していることが好ましい。

【0021】

以下では、まず、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の地鉄11について、詳細に説明する。

【0022】

<地鉄の化学成分について>

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の地鉄11は、質量%で、C:0.0015%~0.0040%、Si:3.5%~4.5%、Al:0.65%以下、Mn:0.2%~2.0%、P:0.005%~0.150%、S:0.0001%~0.0030%、Ti:0.0030%以下、Nb:0.0050%以下、Zr:0.0030%以下、Mo:0.030%以下、V:0.0030%以下、N:0.0010%~0.0030%、O:0.0010%~0.0500%、Cu:0.10%未満、Ni:0.50%未満を含有し、必要に応じてさらにSn又はSbの一方または両方を、それぞれ0.01質量%以上0.2質量%以下含有し、残部がFe及び不純物からなる。

40

【0023】

50

地鉄 11 は例えば熱延鋼板や冷延鋼板などの鋼板である。

【 0 0 2 4 】

以下では、本実施形態に係る地鉄 11 の化学組成が上記のように規定される理由について、詳細に説明する。以下では、特に断りの無い限り、「%」は「質量%」を表すものとする。

【 0 0 2 5 】

[ C : 0 . 0 0 1 5 % ~ 0 . 0 0 4 0 % ]

C (炭素) は、鉄損劣化を引き起こす元素である。C 含有量が 0 . 0 0 4 0 % を超える場合には、無方向性電磁鋼板において鉄損劣化が生じ、良好な磁気特性を得ることができない。従って、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板 10 では、C 含有量を、0 . 0 0 4 0 % 以下とする。C 含有量は、好ましくは、0 . 0 0 3 5 % 以下、より好ましくは 0 . 0 0 3 0 % 以下である。

10

一方、C 含有量が 0 . 0 0 1 5 % 未満となる場合には、無方向性電磁鋼板 10 において上降伏点が生じず、良好な降伏比が得られない。従って、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板 10 では、C 含有量を、0 . 0 0 1 5 % 以上とする。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板において、C 含有量は、好ましくは、0 . 0 0 2 0 % 以上であり、より好ましくは、0 . 0 0 2 5 % 以上である。

【 0 0 2 6 】

[ S i : 3 . 5 % ~ 4 . 5 % ]

Si (ケイ素) は、鋼の電気抵抗を上昇させて渦電流損を低減させ、高周波鉄損を改善する元素である。また、Si は、固溶強化能が大きいため、無方向性電磁鋼板 10 の高強度化にも有効な元素である。上記効果を十分に発揮させるためには、3 . 5 % 以上の Si を含有させることが必要である。好ましくは、3 . 6 % 以上である。

20

一方、Si 含有量が 4 . 5 % を超える場合には、加工性が著しく劣化し、冷間圧延を実施することが困難となる。従って、Si 含有量は、4 . 5 % 以下とする。Si 含有量は、好ましくは、4 . 0 % 以下であり、より好ましくは、3 . 9 % 以下である。

【 0 0 2 7 】

[ A l : 0 . 6 5 % 以下 ]

Al (アルミニウム) は、無方向性電磁鋼板の電気抵抗を上昇させることで渦電流損を低減し、高周波鉄損を改善するために有効な元素である。一方で、Al は、鋼板製造過程における加工性と、製品の磁束密度と、を低下させる影響もある。そのため、Al 含有量を 0 . 6 5 % 以下とする。

30

また、コア焼鈍後において良好な磁気特性を得るためには、固溶 Ti の悪影響を抑制することが肝要であるが、Al 含有量が高い場合には、窒化物として TiN ではなく AlN が析出して、固溶 Ti が増加する。Al 含有量が 0 . 5 0 % を超える場合には、無方向性電磁鋼板の磁束密度が著しく低下し、また脆化することで冷間圧延を実施することが困難となり、コア焼鈍後の磁気特性が劣位となる。従って、コア焼鈍後の磁気特性を考慮すれば、Al 含有量は、0 . 5 0 % 以下とすることが好ましい。Al 含有量は、より好ましくは、0 . 4 0 % 以下であり、さらに好ましくは、0 . 3 5 % 以下である。

一方、Al 含有量の下限値は、特に規定するものではなく 0 % でもよいが、Al 含有量を 0 . 0 0 0 5 % 未満とするには、製鋼での負荷が高く、コストが増加してしまう。そのため、Al 含有量は 0 . 0 0 0 5 % 以上とすることが好ましい。また、高周波鉄損を改善する効果を得る場合には、Al 含有量は、好ましくは、0 . 1 0 % 以上であり、より好ましくは、0 . 2 0 % 以上である。

40

【 0 0 2 8 】

[ M n : 0 . 2 % ~ 2 . 0 % ]

Mn (マンガン) は、鋼の電気抵抗を上昇させて渦電流損を低減し、高周波鉄損を改善するために有効な元素である。上記効果を十分に発揮させるためには、0 . 2 % 以上の Mn を含有させることが必要である。また、Mn 含有量が 0 . 2 % 未満となる場合には、微細な硫化物 (MnS) が析出することで、コア焼鈍時の粒成長性が劣化するので、好まし

50

くない。Mn含有量は、好ましくは、0.4%以上、より好ましくは、0.5%以上である。

一方、Mn含有量が2.0%を超える場合には、磁束密度の低下が顕著となる。従って、Mn含有量は、2.0%以下とする。Mn含有量は、好ましくは、1.7%以下であり、より好ましくは、1.5%以下である。

【0029】

[P: 0.005% ~ 0.150%]

P(リン)は、固溶強化能が大きく、加えて磁気特性の向上に有利な{100}集合組織を増加させる効果も有する元素であり、高強度と高磁束密度とを両立するうえで極めて有効な元素である。更に、{100}集合組織の増加は、無方向性電磁鋼板10の板面内における機械特性の異方性を低減することにも寄与するので、Pは、無方向性電磁鋼板10の打ち抜き加工時の寸法精度を改善する効果も有する。このような強度、磁気特性、及び、寸法精度を改善する効果を得るためには、P含有量を0.005%以上とすることが必要である。P含有量は、好ましくは0.010%以上、より好ましくは0.020%以上である。

10

一方、P含有量が0.150%を超える場合には、無方向性電磁鋼板10の延性が著しく低下する。従って、Pの含有量は、0.150%以下とする。P含有量は、好ましくは、0.100%以下であり、より好ましくは、0.080%以下である。

【0030】

[S: 0.0001% ~ 0.0030%]

S(硫黄)は、MnSの微細析出物を形成することで鉄損を増加させ、無方向性電磁鋼板10の磁気特性を劣化させる元素である。そのため、S含有量は、0.0030%以下とする必要がある。S含有量は、好ましくは、0.0020%以下、より好ましくは、0.0010%以下である。

20

一方、S含有量を0.0001%よりも低減させようとする、いたずらにコストアップを招くのみである。従って、S含有量は、0.0001%以上とする。S含有量は、好ましくは、0.0003%以上であり、より好ましくは、0.0005%以上である。

【0031】

[Ti: 0.0030%以下]

Ti(チタン)は、鋼中に不可避免的に混入し得る元素であり、炭素や窒素と結合して介在物(炭化物、窒化物)を形成する元素である。炭化物が形成された場合には、コア焼鈍中の結晶粒の成長が阻害されて、磁気特性が劣化する。従って、Ti含有量は、0.0030%以下とする。Ti含有量は、0.0015%以下であり、より好ましくは、0.0010%以下である。

30

一方、Ti含有量は0%でもよいが、0.0005%よりも低減させようとする、いたずらにコストアップを招く。従って、Ti含有量は、0.0005%以上とすることが好ましい。

【0032】

[Nb: 0.0050%以下]

Nb(ニオブ)は、炭素や窒素と結合して介在物(炭化物、窒化物)を形成することで高強度化に寄与する元素である。しかしながら、Nbは高価な元素であり、含有量を0.0050%以下とする。また、Nbは、コア焼鈍中の結晶粒の成長を阻害して磁気特性を劣化させる元素でもある。従って、コア焼鈍後の磁気特性を考慮すれば、Nb含有量は、0.0030%以下とすることが好ましい。Nb含有量は、好ましくは、0.0010%以下であり、より好ましくは、測定限界以下(tr.) (0%を含む)である。

40

【0033】

[Zr: 0.0030%以下]

Zr(ジルコニウム)は、炭素や窒素と結合して介在物(炭化物、窒化物)を形成することで高強度化に寄与する元素である。しかしながら、Zrは、コア焼鈍中の結晶粒の成長を阻害して磁気特性を劣化させる元素でもある。従って、Zr含有量は、0.0030

50

%以下とする。Zr含有量は、好ましくは、0.0010%以下であり、より好ましくは、測定限界以下(tr.) (0%を含む)である。

【0034】

[Mo: 0.030%以下]

Mo(モリブデン)は、不可避免的に混入し得る元素であり、炭素と結合して介在物(炭化物)を形成する元素である。ただし、Moは、コア焼鈍が実施されるような750以上の温度では溶体化しやすいので、若干の混入が許容される。しかしながら、混入量が増えすぎると結晶粒の成長を阻害して磁気特性を劣化させるので、Mo含有量は、0.030%以下とする。Mo含有量は、好ましくは、0.020%以下であり、より好ましくは0.015%以下であり、測定限界以下(tr.) (0%を含む)でもよい。

10

一方、Mo含有量を0.0005%よりも低減させようとする、いたずらにコストアップを招く。従って、製造コストの観点からは、Mo含有量は、0.0005%以上とすることが好ましい。Mo含有量は、好ましくは、0.0010%以上である。

【0035】

[V: 0.0030%以下]

V(バナジウム)は、炭素や窒素と結合して介在物(炭化物、窒化物)を形成することで高強度化に寄与する元素である。しかしながら、Vは、コア焼鈍中の結晶粒の成長を阻害して磁気特性を劣化させる元素でもある。従って、V含有量は、0.0030%以下とする。V含有量は、好ましくは、0.0010%以下であり、より好ましくは、測定限界以下(tr.) (0%を含む)である。

20

【0036】

[N: 0.0010%~0.0030%]

N(窒素)は、不可避免的に混入する元素であり、磁気時効を引き起こして鉄損を増加させ、無方向性電磁鋼板10の磁気特性を劣化させる元素である。そのため、N含有量は、0.0030%以下とする必要がある。N含有量は、好ましくは、0.0025%以下であり、より好ましくは、0.0020%以下である。

一方、N含有量を0.0010%よりも低減させようとする、いたずらにコストアップを招く。従って、N含有量は、0.0010%以上とする。

【0037】

[O: 0.0010%~0.0500%]

O(酸素)は、不可避免的に混入する元素であり、酸化物を形成することで鉄損を増加させ、無方向性電磁鋼板10の磁気特性を劣化させる元素である。そのため、O含有量は、0.0500%以下とする必要がある。Oは、焼鈍工程において混入することもあるので、スラブ段階(すなわち、レードル値)においては、0.0050%以下とすることが好ましい。

30

一方、O含有量を0.0010%よりも低減させようとする、いたずらにコストアップを招く。従って、O含有量は、0.0010%以上とする。

【0038】

[Cu: 0.10%未満]

[Ni: 0.50%未満]

Cu(銅)及びNi(ニッケル)は、不可避免的に混入し得る元素である。意図的なCu及びNiの添加は、無方向性電磁鋼板10の製造コストを増加させる。従って、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、添加する必要がない。

40

Cu含有量は、製造工程において不可避免的に混入しうる最大値である0.10%未満とする。

一方で、特に、Niは、無方向性電磁鋼板10の強度を向上させる元素でもあり、意図的に添加して含有させてもよい。ただし、Niは高価であるため、意図的に含有させる場合でも、その含有量の上限を0.50%未満とする。

Cu含有量及びNi含有量の下限は、特に限定されるものではなく0%でもよいが、Cu含有量及びNi含有量を0.005%よりも低減させようとする、いたずらにコスト

50

アップを招く。従って、Cu含有量及びNiの含有量は、いずれも0.005%以上とすることが好ましい。Cu含有量及びNi含有量は、好ましくは、それぞれ、0.01%以上、0.09%以下であり、より好ましくは、0.02%以上、0.06%以下である。

【0039】

[Sn: 0% ~ 0.20%]

[Sb: 0% ~ 0.20%]

Sn(スズ)及びSb(アンチモン)は、鋼板の表面に偏析し焼鈍中の酸化を抑制することで、低い鉄損を確保するのに有用な任意添加元素である。従って、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板では、上記効果を得るために、Sn又はSbの少なくとも何れか一方を、任意添加元素として地鉄中に含有させてもよい。上記効果を十分に発揮させるためには、Sn含有量又はSb含有量を、それぞれ0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.03%以上である。

10

一方、Sn含有量又はSb含有量がそれぞれ0.20%を超える場合には、地鉄の延性が低下して冷間圧延が困難となる可能性がある。従って、Sn含有量又はSb含有量は、含有させる場合でも、それぞれ0.20%以下とすることが好ましい。Sn又はSbを地鉄中に含有させる場合に、Sn含有量又はSb含有量は、より好ましくは、0.10%以下である。

【0040】

$[C] \times ([Ti] + [Nb] + [Zr] + [V]) < 0.000010$

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の地鉄11は、以上説明したような化学成分を有しているが、地鉄11のC、Ti、Nb、Zr、Vの含有量は、更に、以下の式(1)で表される条件を満足することが好ましい。

20

【0041】

$[C] \times ([Ti] + [Nb] + [Zr] + [V]) < 0.000010 \cdots (1)$

ここで、上記式(1)において、[X]との表記は、元素Xの含有量(単位:質量%)を表す、すなわち、例えば[C]であれば、質量%でのC含有量を表す。

【0042】

地鉄11中にCが存在すると、地鉄11では、C含有量に応じた炭化物が形成されうる。また、先だって説明したように、Ti、Nb、Zr、Vは、炭素との間で炭化物を形成する元素であり、地鉄11中にこれらの元素が存在することで、炭化物がより形成されやすくなる。従って、上記式(1)の左辺は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の地鉄11において、炭化物形成能力を示す指標とみなすことができる。

30

【0043】

本発明者らが、地鉄11中の化学成分の含有量を変化させながら、地鉄11中での炭化物の形成の様子について鋭意検討を行った結果、上記式(1)の左辺で与えられる値が0.000010以上となる場合には、炭化物が形成されることでコア焼鈍中の結晶粒の成長が阻害され、コア焼鈍後の磁気特性が劣化しやすくなることが明らかとなった。従って、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、C、Ti、Nb、Zr、Vの含有量について、上記式(1)の左辺で与えられる値が0.000010未満となるようにすることが好ましい。上記式(1)の左辺で与えられる値は、より好ましくは、0.000006

40

以下であり、更に好ましくは、0.000004以下である。上記式(1)の左辺で与えられる値は、小さければ小さいほど好ましく、その下限値は特に規定されるものではないが、本実施形態に係る地鉄11における上記元素の下限値に基づき、0.00000075という値が実質的な下限値となる。

【0044】

以上、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板における地鉄の化学成分について、詳細に説明した。

上記の元素の他に、不純物として、Pb、Bi、As、B、Se、Mg、Ca、La、Ceなどの元素が0.0001%~0.0050%の範囲で含まれていても、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の効果を損なうものではない。

50

## 【 0 0 4 5 】

無方向性電磁鋼板 1 0 における地鉄 1 1 の化学成分を測定する場合には、公知の各種測定法を利用することが可能であり、例えば、I C P - M S ( 誘導結合プラズマ質量分析 ) 法等を適宜利用すればよい。

## 【 0 0 4 6 】

< 地鉄の平均結晶粒径について >

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板 1 0 において、地鉄 1 1 の平均結晶粒径は、以下で詳述する仕上焼鈍を経た後 ( コア焼鈍が行われていない状態 ) の時点で、 $10\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$  という微細化された状態となっている。地鉄 1 1 の平均結晶粒径が  $10\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$  の範囲内に微細化されることで、地鉄 1 1 中の粒界の割合を増加させることができ、歪時効現象を生じさせることが可能となる。

10

このような微細化された平均結晶粒径は、以下で詳述する仕上焼鈍工程において、特定の雰囲気下において特定の焼鈍温度及び均熱時間の焼鈍を行った後、特定の冷却速度で冷却を行うことによって実現される。地鉄 1 1 の平均結晶粒径は、仕上焼鈍時における熱処理条件を変更することで、制御することが可能である。

## 【 0 0 4 7 】

仕上焼鈍後 ( コア焼鈍が行われていない状態 ) の地鉄 1 1 の平均結晶粒径が  $10\ \mu\text{m}$  未満である場合には、S i 含有量を最大値とし、かつ、コア焼鈍を行ったとしても、無方向性電磁鋼板に求められる重要な磁気特性の一つである鉄損が大きくなるので、好ましくない。

20

一方、仕上焼鈍後 ( コア焼鈍が行われていない状態 ) の地鉄 1 1 の平均結晶粒径が  $40\ \mu\text{m}$  を超える場合には、平均結晶粒径が大きくなりすぎる結果、ロータに求められる優れた強度及び降伏比が得られなくなるので、好ましくない。地鉄 1 1 の平均結晶粒径は、好ましくは、 $15\ \mu\text{m} \sim 30\ \mu\text{m}$  の範囲内であり、より好ましくは、 $20\ \mu\text{m} \sim 25\ \mu\text{m}$  の範囲内である。

## 【 0 0 4 8 】

また、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板 1 0 では、ステータを製造する際に実施されるコア焼鈍を施すと、地鉄 1 1 の結晶粒が成長して、平均結晶粒径が粗大化する。これは、結晶粒の成長を阻害する元素である C、T i、N b、Z r、V 含有量が、上記範囲内となるように制御されているからである。所定条件のコア焼鈍を行うことによって、コア焼鈍後の粗大化した地鉄 1 1 の平均結晶粒径は、 $60\ \mu\text{m} \sim 150\ \mu\text{m}$  となることが好ましい。本実施形態において、「コア焼鈍」とは、地鉄 1 1 の結晶粒の粒成長を促進することを目的として実施される焼鈍である。

30

## 【 0 0 4 9 】

コア焼鈍の所定条件とは、焼鈍温度  $750 \sim 900$ 、均熱時間  $10\ \text{分} \sim 180\ \text{分}$  という範囲内から、電磁鋼板の板厚やコア焼鈍前の粒径等に応じて適宜選択される条件である。好ましい焼鈍温度は、 $775 \sim 850$  であり、好ましい均熱時間は  $30\ \text{分} \sim 150\ \text{分}$  である。焼鈍雰囲気における露点は、焼鈍炉の種類や性能に応じて適宜設定すればよいが、例えば、 $-40$  以上  $20$  以下の範囲内で設定すればよい。より具体的には、例えば、露点  $-40$  の窒素雰囲気において、焼鈍温度  $800$ 、均熱時間  $120\ \text{分}$  とすることができる。

40

## 【 0 0 5 0 】

所定のコア焼鈍を施した後の地鉄 1 1 の平均結晶粒径が  $60\ \mu\text{m}$  未満である場合には、S i 含有量を最大値とした場合であっても、無方向性電磁鋼板に求められる重要な磁気特性の一つである鉄損が大きくなるので、好ましくない。また、所定のコア焼鈍を施した後の地鉄 1 1 の平均結晶粒径が  $150\ \mu\text{m}$  を超える場合においても、結晶粒が成長しすぎた結果鉄損が大きくなるので、好ましくない。所定のコア焼鈍を施した後の地鉄 1 1 の平均結晶粒径は、より好ましくは、 $65\ \mu\text{m} \sim 120\ \mu\text{m}$  の範囲内であり、更に好ましくは、 $70\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$  の範囲内である。

## 【 0 0 5 1 】

50

以上説明したように、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、所定条件のコア焼鈍を実施すると、地鉄11の平均結晶粒径が大きく変化する。このような特徴を利用することで、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、一枚の無方向性電磁鋼板から、ロータとステータとの双方を製造することができ、その結果、歩留まりの低下を抑制することが可能となる。

#### 【0052】

図2は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10を用いて、ロータ及びステータを製造する場合の流れの一例を示した流れ図である。

以上説明したように、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、コア焼鈍を施していない状態では、地鉄11の平均結晶粒径は $10\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ の範囲内であり、結晶粒が微細化された状態にある。この無方向性電磁鋼板10を用いて、ロータ及びステータの形状に打ち抜くことで(工程1)、ロータ及びステータを製造するための部材が製造される。続いて、製造したロータ製造用部材、及び、ステータ製造用部材のそれぞれを、積層する(工程2)。打ち抜き工程及び積層工程を経た後も、積層された各部材における地鉄11の平均結晶粒径は、 $10\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ の範囲内にある。

#### 【0053】

図2に示したように、積層されたロータ製造用部材を用いて(コア焼鈍を経ることなく)、ロータが製造される。製造されたロータは、地鉄11の平均結晶粒径が $10\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ と微細化された状態のままであるので、ロータに求められる優れた強度(例えば、引張強度 $580\text{MPa}$ 以上の強度)、さらには高い降伏比(0.82以上)を有している。

#### 【0054】

また、図2に示したように、積層されたステータ製造用部材に対して、コア焼鈍を施すことで(工程3)、ステータが製造される。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、コア焼鈍によって地鉄11の結晶粒が大きく成長し、例えば所定条件のコア焼鈍を行えば上記のような $60\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ の範囲内となり、優れた鉄損及び磁束密度を実現することができる。

#### 【0055】

上記のような地鉄11の平均結晶粒径は、例えば、板厚方向中心のZ断面の組織に対し、JIS G0551「鋼 - 結晶粒度の顕微鏡試験方法」の切断法に従って求めることができる。

#### 【0056】

<機械特性について>

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、上記化学組成を有し、かつ仕上焼鈍後(コア焼鈍が行われていない状態)の地鉄11の平均結晶粒径が $10\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ と微細化されている。その結果、引張強度は、 $580\text{MPa} \sim 700\text{MPa}$ となる。

#### 【0057】

また、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、製造する際に、特定の雰囲気下において特定の焼鈍温度及び均熱時間の焼鈍を行った後、特定の冷却速度で冷却を行う。その結果、降伏現象を生じ、上降伏点及び下降伏点を示すようになる。

本実施形態において、上降伏点とは、図3のA点のように、引張強度以前(引張強度を示す位置より左側)の微小歪域における、応力が最大値を示す点と定義する。下降伏点とは、上降伏点を過ぎた後に応力値が低下する点である。無方向性電磁鋼板では他鋼種に見られるような一定値とはなりにくいので、本実施形態では下降伏点を、図3のB点のように、上降伏点から引張強度を示す点の間における、応力が最小値を示す点と定義する。

#### 【0058】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、降伏比が、0.82以上である。降伏比が0.82以上となることで、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、ロータとしてより一層優れた機械特性を示すようになる。降伏比は、好ましくは0.84以上である。降伏比の上限値は、特に規定されるものではなく、大きければ大きいほど良いが、実際に

は、0.90程度が上限となる。

また、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、上降伏点(図3における点A)の応力値と、下降伏点(図3における点B)の応力値との差分(図3における )は、5MPa以上となることが好ましい。 が、5MPa以上であれば、0.82以上の降伏比が得やすくなる。

#### 【0059】

図4は、先だって説明したような化学組成を有する鋼を、以下で詳述する焼鈍雰囲気のもと、均熱時間を20秒に固定した上で、焼鈍温度を5種類に変化させた場合における、応力-ひずみ曲線の測定結果の一例を示したものである。

焼鈍温度を、一般的な無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度である950、1000とした場合、地鉄11の平均結晶粒径は、950の場合で54 $\mu$ m、1000の場合で77 $\mu$ mとなった。一方で、焼鈍温度を、以下で詳述するような本実施形態に係る仕上焼鈍温度の範囲内である800、850、または900とした場合には、地鉄11の平均結晶粒径は、800の場合で16 $\mu$ m、850の場合で25 $\mu$ m、900の場合で37 $\mu$ mとなった。

得られた5種類の無方向性電磁鋼板10の応力-ひずみ曲線の測定結果は、図4に示した通りである。

#### 【0060】

図4に示したように、平均結晶粒径が16 $\mu$ m、25 $\mu$ m、37 $\mu$ mとなった本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の応力-ひずみ曲線は、上降伏点及び下降伏点が観測されるような降伏現象を発現している。一方、平均結晶粒径が54 $\mu$ m、77 $\mu$ mとなった無方向性電磁鋼板の応力-ひずみ曲線は、上降伏点及び下降伏点が存在していない。

#### 【0061】

上記のような引張強度及び降伏点は、JIS Z2201に規定された試験片を作製した上で、引張試験機により引張試験を行うことで、測定することが可能である。

#### 【0062】

<地鉄の板厚について>

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10における地鉄11の板厚(図1における厚みt、無方向性電磁鋼板10の製品板厚と捉えることができる。)は、高周波鉄損を低減するために0.30mm以下とする必要がある。一方、地鉄11の板厚tが0.10mm未満である場合には、板厚が薄いために焼鈍ラインの通板が困難となる可能性がある。従って、無方向性電磁鋼板10における地鉄11の板厚tは、0.10mm以上、0.30mm以下とする。無方向性電磁鋼板10における地鉄11の板厚tは、好ましくは、0.15mm以上、0.25mm以下である。

#### 【0063】

<仕上焼鈍後・コア焼鈍前の磁気特性について>

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10では、仕上焼鈍後(コア焼鈍が行われていない状態)の鉄損W10/800は、50W/kg以下である。鉄損W10/800は、好ましくは、48W/kg以下であり、より好ましくは、45W/kg以下である。

#### 【0064】

<コア焼鈍後の磁気特性について>

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、上記のような所定のコア焼鈍を施すことで地鉄11の結晶粒が成長して、より優れた鉄損を示すようになる。本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10は、鉄損W10/400が、11W/kg以下となることが好ましい。鉄損W10/400は、より好ましくは、10W/kg以下である。ここで、コア焼鈍の条件は、例えば、露点-40の窒素雰囲気において、焼鈍温度800、均熱時間120分とすることができる。

#### 【0065】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の各種の磁気特性は、JIS C2550に規定されたエプスタイン法や、JIS C2556に規定された単板磁気特性測定法(Si

10

20

30

40

50

ngle Sheet Tester : SST) に則して、測定することが可能である。

【0066】

<絶縁被膜について>

再び図1に戻って、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10が有していることが好ましい絶縁被膜13について、簡単に説明する。

【0067】

無方向性電磁鋼板は、コアブランクを打ち抜いたのち積層され使用される。そのため、地鉄11の表面に絶縁被膜13を設けることで、板間の渦電流を低減することができ、コアとして渦電流損を低減することが可能となる。

【0068】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の絶縁被膜13は、無方向性電磁鋼板の絶縁被膜として用いられるものであれば、特に限定されるものではなく、公知の絶縁被膜を用いることが可能である。このような絶縁被膜として、例えば、無機物を主体とし、更に有機物を含んだ複合絶縁被膜を挙げることができる。ここで、複合絶縁被膜とは、例えば、クロム酸金属塩、リン酸金属塩、又は、コロイダルシリカ、Zr化合物、Ti化合物等の無機物の少なくとも何れかを主体とし、微細な有機樹脂の粒子が分散している絶縁被膜である。特に、近年ニーズの高まっている製造時の環境負荷低減の観点からは、リン酸金属塩やZrあるいはTiのカップリング剤、又は、これらの炭酸塩やアンモニウム塩を出発物質として用いた絶縁被膜が好ましく用いられる。

【0069】

上記のような絶縁被膜13の付着量は、特に限定するものではないが、例えば、片面あたり400mg/m<sup>2</sup>以上、1200mg/m<sup>2</sup>以下程度とすることが好ましく、片面あたり800mg/m<sup>2</sup>以上、1000mg/m<sup>2</sup>以下とすることが更に好ましい。上記付着量となるように絶縁被膜13を形成することで、優れた均一性を保持することが可能となる。絶縁被膜13の付着量を測定する場合には、公知の各種測定法を利用することが可能であり、例えば、水酸化ナトリウム水溶液浸漬前後の質量差を測定する方法や、検量線法を用いた蛍光X線法等を適宜利用すればよい。

【0070】

(無方向性電磁鋼板の製造方法について)

続いて、図5を参照しながら、以上説明したような本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の製造方法について、詳細に説明する。図5は、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造方法の流れの一例を示した流れ図である。

【0071】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の製造方法では、以上説明したような所定の化学成分を有する鋼塊に対して、熱間圧延、熱延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を順に実施する。また、絶縁被膜13を地鉄11の表面に形成する場合には、上記仕上焼鈍の後に絶縁被膜の形成が行われる。以下、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の製造方法で実施される各工程について、詳細に説明する。

【0072】

<熱間圧延工程>

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板10の製造方法では、まず、上記の化学組成を有する鋼塊(スラブ)を加熱し、加熱された鋼塊について熱間圧延を行って、熱延板(熱延鋼板)を得る(ステップS101)。熱間圧延に供する際の鋼塊の加熱温度については、特に規定するものではないが、例えば、1050以上、1200以下とすることが好ましい。また、熱間圧延後の熱延板の板厚についても、特に規定するものではないが、地鉄の最終板厚を考慮して、例えば、1.5mm~3.0mm程度とすることが好ましい。鋼塊に対して以上のような熱間圧延が施されることで、地鉄11の表面には、Feの酸化物を主体とするスケールが生成される。

【0073】

<熱延板焼鈍工程>

10

20

30

40

50

上記熱間圧延の後には、熱延板焼鈍が実施される（ステップS103）。熱延板焼鈍においては、例えば、焼鈍雰囲気中の露点を $-20$ 以上、 $50$ 以下とし、焼鈍温度を $850$ 以上、 $1100$ 以下とし、かつ、均熱時間を $10$ 秒以上、 $150$ 秒以下とすることが好ましい。均熱時間とは、熱延板焼鈍に供される熱延板の温度が、最高到達板温 $\pm 5$ の範囲内となっている時間をいう。

【0074】

露点を $-20$ 未満に制御することは、過剰なコストアップを招くので、好ましくない。一方、露点が $50$ を超える場合には、地鉄のFeの酸化が進むことで、その後の酸洗によって板厚が過剰に減少し、歩留まり悪化が生じるので、好ましくない。焼鈍雰囲気中の露点は、好ましくは、 $-10$ 以上、 $40$ 以下であり、より好ましくは、 $-10$ 以上、 $20$ 以下である。

10

【0075】

焼鈍温度が $850$ 未満である場合、又は、均熱時間が $10$ 秒未満である場合には、磁束密度 $B50$ が劣化してしまうので、好ましくない。

一方、焼鈍温度が $1100$ を超える場合、又は、均熱時間が $150$ 秒を超える場合には、後段の冷間圧延工程において地鉄が破断してしまう可能性が生じるので、好ましくない。

焼鈍温度は、好ましくは、 $900$ 以上、 $1050$ 以下であり、より好ましくは、 $950$ 以上、 $1050$ 以下である。また、均熱時間は、好ましくは、 $20$ 秒以上、 $100$ 秒以下であり、より好ましくは、 $30$ 秒以上、 $80$ 秒以下である。

20

【0076】

また、熱延板焼鈍における冷却過程では、熱延板焼鈍における冷却過程では、 $0.82$ 以上の降伏比をより確実に実現するために、 $800 \sim 500$ までの温度域での平均冷却速度を、 $10$  / 秒 $\sim 100$  / 秒とすることが好ましく、 $25$  / 秒以上とすることがより好ましい。

$800 \sim 500$ までの温度域での冷却速度が $10$  / 秒未満となる場合には、固溶Cによる歪時効が十分得られず、上降伏点が生じにくくなり、降伏比が低下する。平均冷却速度が $10$  / 秒以上の強冷却とするには、後段から流入させるガス量を増加する等により達成できる。

一方、機械特性の観点では、板温 $800 \sim 500$ までの平均冷却速度は高い程好ましいが、平均冷却速度が速すぎると板形状が劣化して生産性、鋼板品質を損なうので、上限を $100$  / 秒とする。

30

【0077】

<酸洗工程>

上記熱延板焼鈍の後には、酸洗が実施され（ステップS105）、地鉄11の表面に生成したスケール層が除去される。酸洗に用いられる酸の濃度、酸洗に用いる促進剤の濃度、酸洗液の温度等の酸洗条件は、特に限定されるものではなく、公知の酸洗条件とすることができる。

【0078】

<冷間圧延工程>

上記酸洗の後には、冷間圧延が実施される（ステップS107）。

冷間圧延では、地鉄の最終板厚が $0.10$  mm以上 $0.30$  mm以下となるような圧下率で、スケール層の除去された酸洗板が圧延される。冷間圧延により、地鉄11の金属組織は、冷間圧延によって得られる冷延組織となる。

40

【0079】

<仕上焼鈍工程>

上記冷間圧延の後には、仕上焼鈍が実施される（ステップS109）。

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造方法において、仕上焼鈍工程は、上記のような地鉄11の平均結晶粒径を実現し、かつ、降伏現象を生じさせるために、重要な工程である。仕上焼鈍工程において、焼鈍雰囲気は、露点が $-20 \sim 50$ である湿潤雰囲気

50

とし、焼鈍温度は、750 以上、900 以下とし、均熱時間は、10 秒以上、100 秒未満とする。均熱時間とは、仕上焼鈍に供される冷延鋼板の温度が、最高到達板温 ± 5 の範囲内となっている時間をいう。上記焼鈍条件下で仕上焼鈍を行い、後述するような冷却を行うことで、上記のような地鉄 11 の平均結晶粒径を実現し、かつ、降伏現象を生じさせることができる。

#### 【0080】

焼鈍雰囲気露点の露点が一20 未満である場合には、コア焼鈍時に表層付近の粒成長性が劣化して、鉄損が劣位となるので好ましくない。一方、焼鈍雰囲気露点が一50 を超える場合には、内部酸化が生じて鉄損が劣化するの好ましくない。また、焼鈍温度が一750 未満である場合には、焼鈍時間が長くなりすぎて、生産性が低下する可能性が高くなるので、好ましくない。一方、焼鈍温度が一900 を超える場合には、仕上焼鈍後の結晶粒径の制御が困難となるので好ましくない。また、均熱時間が10 秒未満である場合には、十分な仕上焼鈍を行うことができず、地鉄 11 に適切に種結晶を生じさせることが困難となることがあるので、好ましくない。一方、均熱時間が100 秒を超える場合には、地鉄 11 に生じる種結晶の平均結晶粒径が、先だつて言及した範囲外となる可能性が高まるので、好ましくない。

10

#### 【0081】

焼鈍雰囲気露点は、好ましくは、一10 以上、20 以下であり、より好ましくは、0 以上、10 以下である。また、焼鈍雰囲気酸素ポテンシャル ( $H_2O$  の分圧  $P_{H_2O}$  を、 $H_2$  の分圧  $P_{H_2}$  で除した値： $P_{H_2O} / P_{H_2}$ ) は、0.01 ~ 0.30 の還元雰囲気であることが好ましい。

20

#### 【0082】

焼鈍温度は、好ましくは、800 以上、850 以下であり、より好ましくは、800 以上、825 以下である。均熱時間は、好ましくは、10 秒以上、30 秒以下である。

#### 【0083】

先だつて言及したような、10  $\mu m$  ~ 40  $\mu m$  という地鉄 11 の平均結晶粒径、及び、0.82 以上の降伏比をより確実に実現するために、板温が一750 から600 までの平均冷却速度を、25 / 秒以上の強冷却とすることが好ましい。また、板温が一400 から100 までの冷却速度は、この間の何れかのタイミングで一20 / 秒以下の緩冷却することが更に好ましい。

30

板温が一750 から600 までの冷却速度が一25 / 秒未満となる場合には、冷却速度が遅くなりすぎて地鉄 11 の結晶粒を十分に微細化することができず、上記のような10  $\mu m$  ~ 40  $\mu m$  という平均結晶粒径を実現することができない可能性がある。更に、板温が一750 から600 までの冷却速度が一25 / 秒未満となる場合には、冷却過程でTiCなどの炭化物の析出が生じ、固溶Cが減少してしまうので、固溶Cによる歪時効が十分得られず、上降伏点が生じにくくなり、降伏比が低下する。一方、板温が一750 から600 までの冷却速度の上限値は、特に規定するものではないが、実際には、100 / 秒程度が上限となる。板温が一750 から600 までの冷却速度は、好ましくは、30 / 秒以上60 / 秒以下である。

40

また、板温が一400 から100 の間において、少なくとも一部の温度区間において冷却速度が一20 / 秒以下の緩冷却（瞬間冷却速度が一20 / 秒以下となる場合を含む）を行うことで、固溶Cによる歪時効が進み、上降伏点が一より生じやすくなる。少なくとも一部の温度区間において緩冷却を行うことによって、鋼板が一400 ~ 100 の温度範囲に16 秒以上滞留することがより好ましい。

#### 【0084】

仕上焼鈍において、板温が一750 以上900 以下の温度域までの加熱速度は、例えば、20 / 秒 ~ 1000 / 秒とすることが好ましい。加熱速度を一20 / 秒以上とすることで、無方向性電磁鋼板の磁気特性を一更に良好なものとすることが可能となる。一方、加熱速度を一1000 / 秒を超えて上げたとしても、磁気特性の向上効果が飽和する。仕

50

上焼鈍における板温 750 以上 900 以下の温度域での加熱速度は、より好ましくは、50 / 秒 ~ 200 / 秒である。

【0085】

上記のような各工程を経ることで、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板 10 を製造することができる。

【0086】

<絶縁被膜形成工程>

上記仕上焼鈍の後には、必要に応じて、絶縁被膜の形成工程が実施される（ステップ S111）。ここで、絶縁被膜の形成工程については、特に限定されるものではなく、上記のような公知の絶縁被膜処理液を用いて、公知の方法により処理液の塗布及び乾燥を行えばよい。

10

【0087】

絶縁被膜が形成される地鉄の表面は、処理液を塗布する前に、アルカリなどによる脱脂処理や、塩酸、硫酸、リン酸などによる酸洗処理など、任意の前処理を施してもよいし、これら前処理を施さずに仕上焼鈍後のままの表面であってもよい。

【0088】

以上、図 5 を参照しながら、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造方法について、詳細に説明した。

【0089】

（モータコアの製造方法について）

20

続いて、再び図 2 を参照しながら、以上説明したような本実施形態に係る無方向性電磁鋼板を用いた、モータコア（ロータ/ステータ）の製造方法について、簡単に説明する。

【0090】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板から得られるモータコアの製造方法では、まず、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板 10 を、コア形状（ロータ形状/ステータ形状）に打ち抜き（工程 1）、得られた各部材を積層して（工程 2）、所望のモータコアの形状（すなわち、所望のロータ形状及びステータ形状）を形成する。コア形状に打ち抜いた無方向性電磁鋼板を積層するため、モータコアの製造に用いる無方向性電磁鋼板 10 は、地鉄 11 の表面に絶縁被膜 13 が形成されたものであることが重要である。

【0091】

30

その後、所望のステータ形状に積層された無方向性電磁鋼板に対して、焼鈍（コア焼鈍）が実施される（工程 3）。コア焼鈍は、70 体積%以上窒素を含有した雰囲気中で実施されることが好ましい。また、コア焼鈍の焼鈍温度は、750 以上 900 以下であることが好ましい。上記焼鈍条件でコア焼鈍を実施することで、無方向性電磁鋼板 10 の地鉄 11 中に存在する再結晶組織から粒成長が進行する。その結果、望ましい磁気特性を示すステータが得られる。

【0092】

雰囲気中の窒素の割合が 70 体積%未満である場合には、コア焼鈍のコストアップを招くので、好ましくない。雰囲気中の窒素の割合は、より好ましくは、80 体積%以上であり、更に好ましくは、90 体積% ~ 100 体積%であり、特に好ましくは、97 体積% ~ 100 体積%である。窒素以外の雰囲気ガスは、特に規定するものではないが、一般的に、水素、二酸化炭素、一酸化炭素、水蒸気、メタンなどからなる還元性の混合ガスを用いることができる。これらのガスを得るために、プロパンガスや天然ガスを燃焼させて得る方法が、一般的に採用されている。

40

【0093】

また、コア焼鈍の焼鈍温度が 750 未満である場合には、十分な粒成長を実現することができず、好ましくない。一方、コア焼鈍の焼鈍温度が 900 を超える場合には、再結晶組織の粒成長が進み過ぎて、ヒステリシス損失は低下するものの、渦電流損失が増加し、結果として全鉄損は増加するので、好ましくない。コア焼鈍の焼鈍温度は、好ましくは、775 以上 850 以下である。

50

## 【 0 0 9 4 】

コア焼鈍を実施する均熱時間は、上記焼鈍温度に応じて適宜設定すればよいが、例えば、10分～180分とすることができる。均熱時間が10分未満である場合には、十分に粒成長を実現出来ないことがある。一方、均熱時間が180分を超える場合には、焼鈍時間が長くなりすぎて、生産性を低下させてしまう可能性が高い。均熱時間は、より好ましくは、30分～150分である。

## 【 0 0 9 5 】

また、コア焼鈍における500 以上750 以下の温度域での加熱速度は、50 / Hr ~ 300 / Hrとすることが好ましい。加熱速度を50 / Hr ~ 300 / Hrとすることで、ステータの諸特性を更に良好なものとすることが可能となるからであり、加熱速度を300 / Hrを超えて上げたとしても、諸特性の向上効果が飽和するからである。コア焼鈍における500 以上750 以下の温度域での加熱速度は、より好ましくは、80 / Hr ~ 150 / Hrである。

10

## 【 0 0 9 6 】

また、750 以下500 以上の温度域での冷却速度は、50 / Hr ~ 500 / Hrとすることが好ましい。冷却速度を50 / Hr以上とすることで、ステータの諸特性を更に良好なものとすることが可能となり、一方、冷却速度を500 / Hrを超えたものとしても、冷却ムラが生じることで逆に熱応力による歪が導入され易くなってしまい、鉄損の劣化が生じてしまう可能性があるからである。コア焼鈍における750 以下500 以上の温度域での冷却速度は、より好ましくは、80 / Hr ~ 200 / Hrである。

20

## 【 0 0 9 7 】

上記のような各工程を経ることで、モータコアを製造することができる。

## 【 0 0 9 8 】

以上、本実施形態に係るモータコアの製造方法について、簡単に説明した。

## 【実施例】

## 【 0 0 9 9 】

以下では、実施例及び比較例を示しながら、本発明に係る無方向性電磁鋼板について、具体的に説明する。以下に示す実施例は、本発明に係る無方向性電磁鋼板の一例にすぎず、本発明に係る無方向性電磁鋼板が下記の例に限定されるものではない。

30

## 【 0 1 0 0 】

以下の表1に示す化学組成を有するスラブを1150 に加熱した後、仕上温度850、仕上板厚2.0mmにて熱間圧延を施し、650 で巻取って熱延鋼板とした。

得られた熱延鋼板に対して、露点10 の雰囲気にて、1000 × 50秒の熱延板焼鈍を行った。熱延板焼鈍後の800 ~ 500 の平均冷却速度は、No. 6が7.0 / 秒であり、その他は、35 / 秒であった。熱延板焼鈍後、酸洗により表面のスケールを除去した。

こうして得られた酸洗板（酸洗後の熱延鋼板）を、冷間圧延により板厚0.25mmの冷延鋼板とした。更に、水素10%、窒素90%、露点0 の混合雰囲気にて、以下の表2A、表2Bに示すような平均結晶粒径となるように、仕上焼鈍条件（焼鈍温度及び均熱時間）を変えて焼鈍した。具体的には、平均結晶粒径が大きくなるように制御する場合には、仕上焼鈍温度をより高く、及び/又は、均熱時間をより長くした。また、平均結晶粒径が小さくなるように制御する場合は、その逆とした。

40

仕上焼鈍時における750 以上900 以下の温度域までの加熱速度は、いずれも100 / 秒であった。また、仕上焼鈍後の750 から600 までの温度域での冷却速度は、No. 7及びNo. 13のみ10 / 秒であり、その他は35 / 秒であった。

仕上焼鈍時の400 ~ 100 の冷却速度の最小値は表2A、表2Bに示す通りであった。発明例においては、いずれも400 ~ 100 における冷却速度の最小値が20 / 秒以下であり、400 ~ 100 の間の滞留時間も16秒以上であった。

## 【 0 1 0 1 】

50

その後、絶縁被膜を塗布し、無方向性電磁鋼板とした。絶縁被膜は、リン酸アルミニウム及び粒径0.2 μmのアクリル - スチレン共重合体樹脂エマルジョンからなる絶縁被膜を所定付着量となるよう塗布し、大気中、350 で焼付けることで形成した。

【0102】

得られた無方向性電磁鋼板の一部を、露点 - 40 の窒素雰囲気（雰囲気中の窒素の割合が99.9体積%以上）で800 × 120分の焼鈍（コアへの加工を行っていないため、本実験例においては、単に「焼鈍」と称するが、コア焼鈍に相当する。以下、「疑似コア焼鈍」と称する。）を施した。

【0103】

疑似コア焼鈍における500 以上700 以下での加熱速度、及び、冷却速度は、それぞれ、100 / Hr、及び、100 / Hrであった。

【0104】

【表 1】

(単位:質量%、残部はFe及び不純物)

鋼種	C	Si	Mn	Al	Ni	Cu	P	S	Ti	Nb	Zr	V	Mo	Sn	Sb	N	O	C x (Ti+Nb+Zr+V)
A	0.0028	3.7	0.9	0.30	0.03	0.06	0.01	0.0008	0.0011	tr.	tr.	tr.	0.011	0.01	tr.	0.0014	0.0017	0.000003
B	0.0035	3.6	0.6	0.20	0.06	0.03	0.03	0.0011	0.0008	0.0005	0.0004	0.0002	0.001	0.01	0.01	0.0022	0.0018	0.000007
C	0.0027	3.6	0.8	0.40	0.05	0.06	0.02	0.0016	0.0028	0.0025	0.0013	0.0021	0.018	0.01	tr.	0.0018	0.0021	0.000023
D	0.0011	3.5	0.9	0.30	0.04	0.05	0.01	0.0018	0.0019	tr.	tr.	0.0008	0.021	0.01	tr.	0.0027	0.0023	0.000003
E	0.0022	3.6	0.6	0.65	0.01	0.07	0.01	0.0009	0.0016	0.0006	0.0005	0.0011	0.002	tr.	0.01	0.0021	0.0016	0.000008
F	0.0016	3.8	0.6	0.40	0.05	0.07	0.01	0.0016	0.0014	0.0047	0.0006	tr.	0.013	0.01	tr.	0.0022	0.0022	0.000011
G	0.0018	4.1	0.5	0.001	0.03	0.05	0.01	0.0028	0.0015	0.0004	tr.	0.0005	0.012	0.03	tr.	0.0016	0.0024	0.000004
H	0.0023	3.6	1.6	0.30	0.05	0.05	0.01	0.0009	0.0007	0.0011	0.0004	0.0006	0.0013	0.01	tr.	0.0028	0.0031	0.000006
I	0.0027	3.5	0.7	0.30	0.07	0.06	0.08	0.0013	0.0011	0.0016	tr.	0.0003	0.012	0.01	tr.	0.0023	0.0017	0.000008
J	0.0024	3.6	0.5	0.30	0.06	0.07	0.01	0.0011	0.0014	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0024	0.0022	0.000003
K	0.0016	4.2	0.5	0.20	0.03	0.04	0.01	0.0005	0.0007	tr.	0.0007	tr.	0.011	0.01	tr.	0.0013	0.0016	0.000002

## 【0105】

疑似コア焼鈍前後の無方向性電磁鋼板について、JIS G0551「鋼 - 結晶粒度の顕微鏡試験方法」の切断法に従って、板厚中心部のZ断面の組織を観察し、地鉄の平均結晶粒径を計測した。また、疑似コア焼鈍前後の無方向性電磁鋼板について、圧延方向及び

10

20

30

40

50

幅方向でエプスタイン試験片を採取し、JIS C 2550 に則したエプスタイン試験により、磁気特性（仕上げ焼鈍後、かつ、疑似コア焼鈍前については、鉄損 W10 / 800、疑似コア焼鈍後については、鉄損 W10 / 400）を評価した。

更に、仕上焼鈍後、かつ、疑似コア焼鈍前の無方向性電磁鋼板から、JIS Z 2241 に従い圧延方向に引張試験片を採取し、引張試験を行って、降伏点、引張強度（TS）、及び、降伏比を計測した。上記のように計測した各種特性を、以下の表 2 A、表 2 B にまとめて示した。

【 0 1 0 6 】

【表 2 A】

No.	鋼種	仕上焼鈍	仕上焼鈍後				疑似コア焼鈍後		備考	
		400°C~100°C における 冷却速度の 最小値 (°C/秒)	平均結晶 粒径 ( $\mu\text{m}$ )	W10/800 (W/kg)	上降伏点- 下降伏点 (MPa)	TS (MPa)	降伏比	平均結晶 粒径 ( $\mu\text{m}$ )		W10/400 (W/kg)
1	A	14	<u>9</u>	<u>54</u>	16	682	0.87	75	10.3	比較例
2		18	18	40	14	641	0.85	83	10.0	発明例
3		41	19	39	4	638	<u>0.81</u>	85	10.0	比較例
4		11	29	35	14	620	0.84	88	9.9	発明例
5		25	31	35	3	618	<u>0.80</u>	84	10.0	比較例
6		13	33	35	4	615	<u>0.81</u>	85	10.0	比較例
7		11	34	35	3	614	<u>0.80</u>	84	10.0	比較例
8		9	<u>42</u>	34	4	607	<u>0.81</u>	76	10.2	比較例
9		16	<u>70</u>	32	0	592	<u>0.79</u>	72	10.6	比較例
10		13	<u>94</u>	32	0	586	<u>0.78</u>	97	10.4	比較例
11	B	17	16	44	15	631	0.86	73	10.7	発明例
12		8	24	37	16	612	0.86	84	10.4	発明例
13		12	30	37	4	603	<u>0.81</u>	80	10.2	比較例
14		36	33	36	4	599	<u>0.81</u>	76	10.6	比較例
15		18	38	35	7	594	0.83	62	10.8	発明例
16		9	<u>57</u>	33	3	582	<u>0.79</u>	59	11.1	比較例
17		13	<u>83</u>	32	0	<u>572</u>	<u>0.78</u>	88	10.7	比較例
18	C	12	21	43	19	628	0.88	54	12.2	発明例
19	D	13	16	42	4	625	<u>0.81</u>	86	10.0	比較例
20		15	23	36	3	608	<u>0.80</u>	92	9.9	比較例
21		16	<u>46</u>	33	1	582	<u>0.79</u>	97	9.9	比較例
22		13	<u>66</u>	32	0	<u>572</u>	<u>0.77</u>	73	10.2	比較例
23		16	<u>87</u>	32	0	<u>565</u>	<u>0.77</u>	92	10.1	比較例
24	E	16	16	43	14	647	0.85	64	11.5	発明例
25		12	24	36	14	628	0.84	68	11.3	発明例
26		9	<u>42</u>	34	4	607	<u>0.80</u>	66	11.5	比較例
27		9	<u>84</u>	32	0	588	<u>0.78</u>	86	12.2	比較例

10

20

30

40

【表 2 B】

No.	鋼種	仕上焼鈍	仕上焼鈍後					疑似コア焼鈍後		備考
		400°C~100°C における 冷却速度の 最小値 (°C/秒)	平均結晶 粒径 (μm)	W10/800 (W/kg)	上降伏点- 下降伏点 (MPa)	TS (MPa)	降伏比	平均結晶 粒径 (μm)	W10/400 (W/kg)	
28	F	11	17	44	14	653	0.85	45	12.4	発明例
29		19	<u>49</u>	35	0	611	<u>0.79</u>	57	12.1	比較例
30		16	<u>77</u>	34	0	599	<u>0.79</u>	78	11.5	比較例
31	G	10	16	42	16	668	0.86	75	10.2	発明例
32		12	26	35	15	645	0.85	82	10.0	発明例
33		34	32	34	3	637	<u>0.81</u>	80	10.2	比較例
34		8	36	34	9	633	0.82	76	10.4	発明例
35		19	<u>72</u>	31	0	612	<u>0.79</u>	75	10.6	比較例
36	H	12	13	45	17	662	0.85	88	9.7	発明例
37		13	29	35	16	624	0.84	93	9.6	発明例
38		9	<u>60</u>	31	0	600	<u>0.78</u>	72	10.1	比較例
39	I	13	14	48	16	648	0.84	81	10.5	発明例
40		14	22	38	15	626	0.85	95	10.3	発明例
41		13	38	35	6	605	0.82	76	10.7	発明例
42		53	38	35	2	606	<u>0.81</u>	78	10.7	比較例
43		8	<u>67</u>	33	0	588	<u>0.80</u>	69	10.4	比較例
44		17	<u>94</u>	33	0	<u>580</u>	<u>0.79</u>	95	10.2	比較例
45	J	14	11	49	15	648	0.85	83	10.0	発明例
46		11	17	42	15	624	0.85	88	9.9	発明例
47		11	39	34	6	589	0.84	94	9.8	発明例
48		10	<u>56</u>	33	1	<u>578</u>	<u>0.80</u>	76	10.4	比較例
49		15	<u>76</u>	32	0	<u>570</u>	<u>0.79</u>	81	10.2	比較例
50	K	16	18	40	16	683	0.85	76	9.8	発明例
51		15	31	34	12	659	0.83	93	9.7	発明例
52		42	37	33	1	653	<u>0.80</u>	80	9.9	比較例
53		16	<u>59</u>	32	3	639	<u>0.80</u>	71	10.1	比較例
54		10	<u>73</u>	31	0	633	<u>0.79</u>	74	10.7	比較例

## 【0108】

上記表 2 A、表 2 B から明らかなように、発明例である No. 2、4、11、12、15、18、24、25、28、31、32、34、36、37、39~41、45~47、50、51 については、成分と仕上焼鈍条件とを適正に制御したため、0.82 以上と

10

20

30

40

50

いう高い降伏比が得られた。また、上降伏点及び下降伏点のそれぞれが生じ、上降伏点と下降伏点の差が5 MPa以上となった。

【0109】

ただし、No. 18は、用いた鋼種Cの「 $C \times (Ti + Nb + Zr + V)$ 」の値が0.000010を上回ったため、疑似コア焼鈍前の諸特性は優れるものの、疑似コア焼鈍後の平均結晶粒径が小さく、また、炭化物の形成により好ましい特性である鉄損W10/400が、11W/kgを上回った。

【0110】

また、No. 24、No. 25は、Al含有量が0.50%を超えたので、Tiが窒化物として固定されず、その結果、炭化物が増加して、疑似コア焼鈍後の鉄損W10/400が11W/kgを上回った。

10

【0111】

また、No. 28は、Nb含有量が0.0030質量%を超えたので、炭化物の形成により鉄損W10/400が11W/kgを上回った。

その他の発明例では、疑似コア焼鈍後の磁気特性においても、良好な結果が得られた。

【0112】

一方、No. 1は、仕上焼鈍後の平均結晶粒径が10 μmを下回っているため、仕上焼鈍後の鉄損W10/800が、50W/kgを上回った。

【0113】

No. 8~10、16、17、26、27、29、30、35、38、43、44、48、49、53、54について、仕上焼鈍温度等の影響で仕上焼鈍後の平均結晶粒径が40 μmを上回ったために上降伏点が明確に生じず、降伏比が低くなった。

20

【0114】

No. 3、5、14、42、52は降伏比が0.82を下回った。これらの鋼では仕上げ焼鈍後の結晶粒径は40 μm以下であったが上降伏点・下降伏点が低かった。仕上げ焼鈍の400~1000の冷却過程全体で20/秒以上の急冷をしていたため炭素による時効効果が十分に働かなかったものと考えられる。

【0115】

No. 6は、降伏比が0.82を下回った。この鋼では熱延板焼鈍後の800~500の平均冷却速度が他鋼種に比べて遅かったので、この間に固溶炭素が炭化物として析出してしまい、仕上げ焼鈍後の再結晶後に歪時効に寄与する固溶炭素が失われたものと考えられる。

30

【0116】

No. 7、13は、降伏比が0.82を下回った。これらの鋼では、仕上げ焼鈍の750から600の冷却速度が他と比べて緩冷であり、高温で炭化物が析出を開始して過時効となることで上降伏点が低下したものと考えられる。

【0117】

No. 19~23については、用いた鋼種DのC含有量が少なかったために上降伏点が明確に生じず、降伏比が低かった。

【0118】

40

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【産業上の利用可能性】

【0119】

本発明によれば、製造コストが抑制され、かつ、機械特性及びコア焼鈍後の磁気特性により一層優れる無方向性電磁鋼板を得ることができる。そのため、産業上の利用可能性が高い。

50

【符号の説明】

【0120】

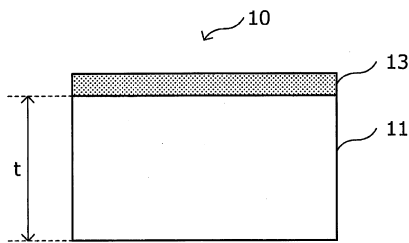
- 10 無方向性電磁鋼板
- 11 地鉄
- 13 絶縁被膜

【要約】

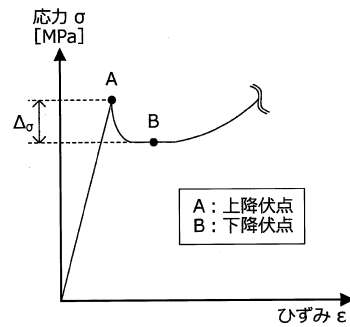
この無方向性電磁鋼板は、化学組成が、質量%で、C：0.0015%～0.0040%、Si：3.5%～4.5%、Al：0.65%以下、Mn：0.2%～2.0%、Sn：0%～0.20%、Sb：0%～0.20%、P：0.005%～0.150%、S：0.0001%～0.0030%、Ti：0.0030%以下、Nb：0.0050%以下、Zr：0.0030%以下、Mo：0.030%以下、V：0.0030%以下、N：0.0010%～0.0030%、O：0.0010%～0.0500%、Cu：0.10%未満、Ni：0.50%未満、を含有し、残部がFe及び不純物からなり、製品板厚が、0.10mm～0.30mmであり、平均結晶粒径が、10μm～40μmであり、鉄損W10/800が、50W/Kg以下であり、引張強度が、580MPa～700MPaであり、降伏比が、0.82以上である。

10

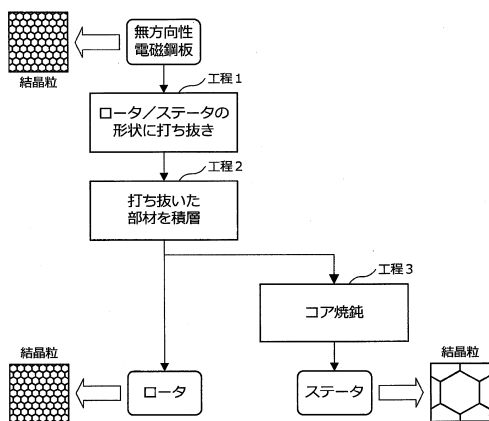
【図1】



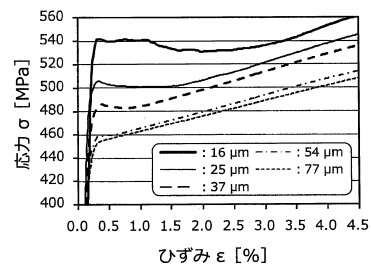
【図3】



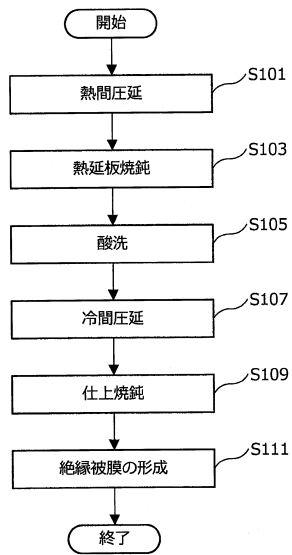
【図2】



【図4】



【図5】



## フロントページの続き

- (72)発明者 竹田 和年  
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 屋鋪 裕義  
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 富田 美穂  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 藤村 浩志  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (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 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 村川 鉄州  
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 松本 卓也  
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 堀 弘樹  
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 郷元 佑哉  
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 宇山 応  
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 鈴木 葉子

- (56)参考文献 特開2016-138316(JP, A)  
国際公開第2016/017263(WO, A1)  
特開2010-121150(JP, A)  
特開2008-050686(JP, A)  
米国特許出願公開第2015/0318093(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C22C 38/00 - 38/60  
C21D 8/12, 9/46  
H01F 1/12 - 1/38, 1/44