

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7541638号
(P7541638)

(45)発行日 令和6年8月29日(2024.8.29)

(24)登録日 令和6年8月21日(2024.8.21)

(51)国際特許分類	F I			
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U		
C 2 2 C 38/14 (2006.01)	C 2 2 C 38/14			
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		
H 0 1 F 1/147(2006.01)	H 0 1 F 1/147	1 8 3		
請求項の数 7 (全31頁)				

(21)出願番号	特願2023-579663(P2023-579663)	(73)特許権者	000001258
(86)(22)出願日	令和5年8月31日(2023.8.31)		J F E スチール株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/031961		東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
審査請求日	令和5年12月26日(2023.12.26)	(74)代理人	110001542
(31)優先権主張番号	特願2022-174748(P2022-174748)		弁理士法人銀座マロニエ特許事務所
(32)優先日	令和4年10月31日(2022.10.31)	(72)発明者	財前 善彰
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
早期審査対象出願			J F E スチール株式会社内
		(72)発明者	大久保 智幸
			東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
			J F E スチール株式会社内
		(72)発明者	齋藤 勇人
			東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
			J F E スチール株式会社内
		(72)発明者	田中 孝明
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 無方向性電磁鋼板とその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量 % で、

C : 0 . 0 0 5 0 % 以下、

S i : 2 . 0 ~ 6 . 5 %、

M n : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 0 %、

P : 0 . 1 0 % 以下、

S : 0 . 0 0 5 0 % 以下、

A l : 0 . 3 ~ 2 . 0 %、

N : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

C o : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 1 0 %、

T i : 0 . 0 0 3 0 % 以下、

N b : 0 . 0 0 3 0 % 以下、

O : 0 . 0 0 5 0 % 以下、

を含有し、残部が F e 及び不可避免の不純物からなる成分組成を有し、

少なくとも一方の鋼板の表面に、S i、A l 及びC oを含有する酸化物層を有し、

鋼板の表面から板厚 1 / 2 0 までの層内においてA l Nとして存在する鋼板表層の窒素量 (N a s A l N) が 0 . 0 1 質量 % 以下であり、

鋼板板厚中心部の窒素量 N c と前記鋼板表層の窒素量 (N a s A l N) が下記 (1) 式を満足し、

50 Hz、1.7 Tで励磁した鋼板の鉄損が3.2 W/kg以下、
であることを特徴とする無方向性電磁鋼板。

記

(Na s Al N) / N c 3.0 . . . (1)

【請求項2】

前記鋼板の表面に有する酸化物層中のAl濃度が、10 at %以上であ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】

前記鋼板は、上記成分組成に加えて、さらに、下記AからG群のうちから1群以上の成分を含有することを特徴とする請求項1又は2に記載の無方向性電磁鋼板。

10

記

質量%で

A群；Sn：0.005～0.20%、Sb：0.005～0.20%のうちから選ばれる1種又は2種

B群；Cu、NiおよびCrから選ばれる1種又は2種以上：合計で0.03～1.0%

C群；Ca、MgおよびREMから選ばれる1種又は2種以上：合計で0.0005～0.020%

D群；GeおよびGaから選ばれる1種または2種：合計で0.0005～0.01%

E群；Zn：0.001～0.05%

F群；Mo、AsおよびWから選ばれる1種または2種以上：合計で0.001～0.05%

20

G群；B、PbおよびVから選ばれる1種または2種以上：合計で0.0001～0.01%

【請求項4】

請求項1又は2に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法であって、

質量%で、

C：0.0050%以下、

Si：2.0～6.5%、

Mn：0.05～2.00%、

P：0.10%以下、

30

S：0.0050%以下、

Al：0.3～2.0%、

N：0.0010～0.0050%、

Co：0.0010～0.010%、

Ti：0.0030%以下、

Nb：0.0030%以下、

O：0.0050%以下を含有し、

残部がFeおよび不可避不純物からなる成分組成を有する鋼スラブを熱間圧延して熱延板とする熱間圧延工程と、

前記熱延板を焼鈍し、もしくは焼鈍せずに1回の冷間圧延または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延して冷延板とする冷間圧延工程と、

40

前記冷延板を電解脱脂処理する電解脱脂処理工程と、

前記電解脱脂処理された冷延板に仕上焼鈍を施す仕上焼鈍工程と、

を含み、

前記熱延板を焼鈍する場合では、均熱温度は800～1100で、均熱時間は3min以下とし、

前記冷間圧延工程では、冷延板の最終板厚を0.50mmとし、

前記電解脱脂処理は電気量密度を3～12(C/dm²)、濃度が1～10%、液温が30～120のアルカリ液によって1～15秒とし、

前記仕上焼鈍工程では、均熱温度は900～1200で、均熱時間は3min以下、

50

露点を - 70 ~ - 10 、
とすることを特徴とする無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 5】

前記鋼スラブは、前記成分組成に加えてさらに、A 群 ~ G 群の中から 1 群以上の成分を含有することを特徴とする請求項 4 に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法。

記

質量 % で、

A 群 ; S n : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 % 、 S b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 % のうちから選ばれる 1 種又は 2 種

B 群 ; C u 、 N i および C r から選ばれる 1 種又は 2 種以上 : 合計で 0 . 0 3 ~ 1 . 0 %

C 群 ; C a 、 M g および R E M から選ばれる 1 種又は 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 %

D 群 ; G e および G a から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %

E 群 ; Z n : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

F 群 ; M o 、 A s および W から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

G 群 ; B 、 P b および V から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 %

【請求項 6】

前記電解脱脂処理のアルカリ液は、水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム、およびオルトケイ酸ソーダから選ばれる 1 種であることを特徴とする請求項 4 に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 7】

前記電解脱脂処理のアルカリ液は、水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム、およびオルトケイ酸ソーダから選ばれる 1 種であることを特徴とする請求項 5 に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板とその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、地球温暖化等の環境への配慮から、省エネルギー化が求められており、自動車分野では、エンジンとモータを併用したハイブリッド電気自動車 (H E V) 、電動モータのみで駆動する電気自動車 (E V) および燃料電池車 (F C E V) などの開発が進められている。上記モータは、モータの高効率化、および高出力化が進展しており、エンジン等の内燃機関がない E V モータでは、モータ高出力化の要求も強くなっている。こうした E V の駆動モータの鉄心材料には無方向性電磁鋼板が多く使用されており、モータの高出力・高効率化を達成するため、上記鋼板には高磁束密度域での低鉄損化が強く求められている。

【0003】

無方向性電磁鋼板は、従来、主に S i や A l 等の合金元素を添加して固有抵抗を高めたり、板厚を薄くしたりして渦電流損を低減することで低鉄損化を図ってきた。しかし、合金元素の多量の添加は、低鉄損化は達成できても、飽和磁束密度の低下を招く。磁束密度の低下は、モータの銅損増加を招くため、モータ効率の低下につながる。また、板厚の低減は、熱延鋼板の板厚を薄くしたり、冷延圧下率を高めたりする必要があるため、生産性の低下を招くという問題もある。

そこで、磁束密度を低下したり、生産性の低下を招いたりすることなく、高磁束密度域の低鉄損を有する無方向性電磁鋼板が開発できれば、電気機器の小型化・高効率化に大いに寄与するものと考えられる。

【0004】

10

20

30

40

50

高磁束密度域で低鉄損の無方向性電磁鋼板を得る技術としては、例えば特許文献 1 には、P を添加することで鋼の結晶方位（集合組織）を制御し、磁束密度を高めるとともに高磁束密度域での低鉄損を達成する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2018-012854 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

しかしながら、P は粒界に偏析し、鋼の脆化を招く元素であるため、特許文献 1 に開示の技術では、安定的に高磁束密度域の低鉄損を得ることができず、昨今の無方向性電磁鋼板に対する要求には十分に 대응することができない。

【0007】

そこで、本発明は、従来技術が抱える上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、磁束密度の低下や生産性の低下を招くことのない、高磁束密度域における低鉄損の無方向性電磁鋼板を提供するとともに、その有利な製造方法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

発明者らは、上記課題の解決に向け、無方向性電磁鋼板の磁気特性に及ぼす表面状態の影響に着目して鋭意検討を重ねた。具体的には、鋼中に含まれる C o の含有量を所定の範囲に制御した上で、仕上焼鈍前の鋼板に所定の条件にて電解アルカリ脱脂処理（以下、「電解脱脂処理」、「電解アルカリ処理」、又は「アルカリ処理」という。）を行った後、
- 70 ~ - 10 の低露点で仕上焼鈍を行い、表層の窒素量を所定の範囲に制御した。その結果、磁束密度の低下を招くことなく、高磁束密度域の鉄損を低減することができることを見出し、本発明を開発するに至った。

20

【0009】

上記知見に基づく本発明に係る無方向性電磁鋼板は以下のように構成される。

[1] 質量%で、C : 0.0050%以下、Si : 2.0 ~ 6.5%、Mn : 0.05 ~ 2.00%、P : 0.10%以下、S : 0.0050%以下、Al : 0.3 ~ 2.0%、
N : 0.0010% ~ 0.0050%、Co : 0.0010 ~ 0.010%、Ti : 0.0030%以下、Nb : 0.0030%以下、O : 0.0050%以下、を含有し、残部が Fe 及び不可避免の不純物からなる成分組成を有し、少なくとも一方の鋼板の表面に、Si、Al 及び Co を含有する酸化物層を有し、鋼板の表面から板厚 1 / 20 までの層内において AlN として存在する鋼板表層の窒素量 (NasAlN) が 0.01 質量%以下であり、鋼板板厚中心部の窒素量 Nc と前記鋼板表層の窒素量 (NasAlN) が下記 (1) 式を満足し、50 Hz、1.7 T で励磁した鋼板の鉄損が 3.2 W / kg 以下、である無方向性電磁鋼板である。

30

記

$$(NasAlN) / Nc \leq 3.0 \quad \cdots (1)$$

40

[2] 上記の [1] において、前記鋼板の表面に有する酸化物層中の Al 濃度が、10 at % 以上である無方向性電磁鋼板である。

[3] 上記の [1] 又は [2] において、前記鋼板は、上記成分組成に加えて、さらに、下記 A から C 群のうちから 1 群以上の成分を含有する無方向性電磁鋼板である。

記

質量%で、

A 群 ; Sn : 0.005 ~ 0.20%、Sb : 0.005 ~ 0.20% のうちから選ばれる 1 種又は 2 種

B 群 ; Cu、Ni および Cr から選ばれる 1 種又は 2 種以上 : 合計で 0.03 ~ 1.0%

C 群 ; Ca、Mg および REM から選ばれる 1 種又は 2 種以上 : 合計で 0.0005 ~ 0

50

. 0 2 0 %

[4] 上記の [1] から [3] において、前記鋼板は、上記成分組成に加えて、さらに、下記 D から G 群のうちから 1 群以上の成分を含有する無方向性電磁鋼板である。

質量%で、

D 群 ; G e、および G a から選ばれる 1 種または 2 種 : 合計で 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %

E 群 ; Z n : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

F 群 ; M o、A s および W から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

G 群 ; B、P b および V から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 %

【 0 0 1 0 】

上記知見に基づく本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法は以下のように構成される。

[5] 質量%で、C : 0 . 0 0 5 0 % 以下、S i : 2 . 0 ~ 6 . 5 %、M n : 0 . 0 5 ~ 2 . 0 0 %、P : 0 . 1 0 % 以下、S : 0 . 0 0 5 0 % 以下、A l : 0 . 3 ~ 2 . 0 %、N : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、C o : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 1 0 %、T i : 0 . 0 0 3 0 % 以下、N b : 0 . 0 0 3 0 % 以下、O : 0 . 0 0 5 0 % 以下を含有し、残部が F e および不可避不純物からなる成分組成を有する鋼スラブを熱間圧延して熱延板とする熱間圧延工程と、前記熱延板を焼鈍し、もしくは焼鈍せずに 1 回の冷間圧延または中間焼鈍を挟む 2 回以上の冷間圧延して冷延板とする冷間圧延工程と、前記冷延板を電解脱脂処理する電解脱脂処理工程と、前記電解脱脂処理された冷延板に仕上焼鈍を施す仕上焼鈍工程と、を含み、前記電解脱脂処理は電気量密度を $3 \sim 12 (C/dm^2)$ 、濃度が $1 \sim 10$ %、液温が $30 \sim 120$ のアルカリ液によって $1 \sim 15$ 秒、前記仕上焼鈍は露点を $-70 \sim -10$ 、とする無方向性電磁鋼板の製造方法である。

[6] 上記の [5] において、前記鋼スラブは、前記成分組成に加えてさらに、A 群 ~ C 群の中から 1 群以上の成分を含有する無方向性電磁鋼板の製造方法である。

A 群 ; S n : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 m a s s %、S b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 m a s s % のうちから選ばれる 1 種又は 2 種

B 群 ; C u、N i および C r から選ばれる 1 種又は 2 種以上 : 合計で 0 . 0 3 ~ 1 . 0 m a s s %

C 群 ; C a、M g および R E M から選ばれる 1 種又は 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 m a s s %

[7] 上記の [5] 又は [6] において、前記鋼板は、上記成分組成に加えて、さらに、下記 D から G 群のうちから 1 群以上の成分を含有する無方向性電磁鋼板の製造方法である。

質量%で、

D 群 ; G e、および G a から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %

E 群 ; Z n : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

F 群 ; M o、A s および W から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

G 群 ; B、P b および V から選ばれる 1 種または 2 種以上 : 合計で 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 %

[8] 上記の [5] から [7] において、前記電解脱脂処理のアルカリ液は、水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム、およびオルトケイ酸ソーダから選ばれる 1 種である無方向性電磁鋼板の製造方法である。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、高磁束密度域で低鉄損を有する無方向性電磁鋼板を製造することができるので、電気機器の小型化・高効率化を実現するモータの製造に好適な素材を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【0012】

【図1】Co含有量と鉄損の関係を示すグラフである。

【図2】表層窒化量(Na s Al N) / N c と鉄損の関係を示すグラフである。

【図3A】電気量密度と鉄損の関係を示すグラフである。

【図3B】電気量密度と表層窒化量(Na s Al N) / N c の関係を示すグラフである。

【図4A】アルカリ処理濃度と鉄損の関係を示すグラフである。

【図4B】アルカリ処理濃度と表層窒化量(Na s Al N) / N c の関係を示すグラフである。

【図5A】アルカリ処理温度と鉄損の関係を示すグラフである。

【図5B】アルカリ処理温度と表層窒化量(Na s Al N) / N c の関係を示すグラフである。

10

【図6A】アルカリ処理時間と鉄損の関係を示すグラフである。

【図6B】アルカリ処理時間と表層窒化量(Na s Al N) / N c の関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

まず、本発明を開発する契機となった実験について説明する。

<実験1>

C : 0 . 0 0 2 5 m a s s %、Si : 2 . 9 m a s s %、Mn : 0 . 3 m a s s %、P : 0 . 0 1 m a s s %、S : 0 . 0 0 1 9 m a s s %、Al : 0 . 6 m a s s %、N : 0 . 0 0 2 3 m a s s %、Ti : 0 . 0 0 1 5 m a s s %、Nb : 0 . 0 0 0 9 m a s s %、およびO : 0 . 0 0 2 0 m a s s %を含有し、さらに、Coを0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 2 m a s s %の範囲で種々に変化して含有し、残部がFeおよび不可避不純物を有する鋼を真空炉で溶製し、鑄造して鋼塊とした。次いで、熱間圧延して板厚2 . 0 mmの熱延板とし、950 × 30 s e cの熱延板焼鈍を実施し、酸洗した後、冷間圧延して最終板厚0 . 25 mmの冷延板とした。続いて、冷延板は、電気量密度は5 (C / d m ²)、濃度が5 %、液温が70 の水酸化ナトリウムにて5秒浸漬させる電解処理した後、露点が- 45、H₂ : N₂ = 20 : 80 (v o l %比)の雰囲気下、1000 で10 s e c間の仕上焼鈍を施した。

20

【0014】

かくして得た仕上焼鈍板の圧延方向(L方向)および幅方向(C方向)から、幅30 mm × 長さ180 mmの試験片を切り出し、エプスタイン試験にて(L + C)方向の高磁束密度域の鉄損W_{17/50}を測定した。

30

【0015】

上記測定の結果を図1に示したが、Coが0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 m a s s %の範囲で鉄損の低下が認められた。

このCoの微量添加による鉄損低下の原因を調査するため、仕上焼鈍後の鋼板の圧延方向断面をSEMで観察した。その結果、鉄損の増加が認められた鋼板には鋼板表層、具体的には鋼板表面から板厚1 / 20の深さまでの層に微細なAl Nの析出が認められ、この微細な窒化物によって鉄損が増加したものと推定された。

40

【0016】

そこで、この仕上焼鈍板について、電解抽出によって鋼板表面から板厚1 / 20までの層においてAl Nとして存在している窒素Nの濃度(m a s s %)と鋼板中心部の窒素Nの濃度(m a s s %)を分析した。その結果、鋼板表面から板厚1 / 20までの層(表層)においてAl Nを形成している窒素量と鋼板板厚中心部の窒素量との比は、高磁束密度域の鉄損と強い相関があることがわかった。図2に、窒素量の比(表層窒化量 / 板厚中心部の窒素量)と鉄損W_{17/50}との関係を示す。この比が3.0以下で鉄損が大きく低下すること、また、この窒化量の比が3.0以下である鋼板は、いずれもCoの含有量が0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 m a s s %の範囲内にあることがわかった。

【0017】

50

また、鉄損の低下が認められたサンプルについて、鋼板表面を透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察を行ったところ、鋼板表層地鉄界面に 20 nm 程度の厚さを有し、かつ Co を有する Fe - Si - Al 酸化層が形成されていることが明らかになった。上記の実験結果から、鋼板に Co を微量添加し、仕上焼鈍前に電解アルカリ処理し、低露点で仕上焼鈍した鋼板で鉄損の低下が認められた原因は、電解アルカリ処理によって仕上焼鈍時に生じた鋼板表層の酸化層が仕上焼鈍時の窒化抑制に寄与したものと考えられる。

【0018】

次に、仕上焼鈍後の鋼板の磁気特性に及ぼす電解アルカリ処理の電気量密度の影響を調査するため、次のように鋼板を製造した。C : 0.0028 mass %、Si : 3.2 mass %、Mn : 0.6 mass %、P : 0.01 mass %、S : 0.0019 mass %、Al : 0.8 mass %、N : 0.0022 mass %、Ti : 0.0011 mass %、Nb : 0.0007 mass % および O : 0.0020 mass %、Co : 0.0027 % を含有し、残部が Fe および不可避不純物を有する鋼を真空炉で溶製し、鑄造して鋼塊とした。次いで、熱間圧延して板厚 2.2 mm の熱延板とし、980 × 30 sec の熱延板焼鈍を実施し、酸洗した後、冷間圧延して最終板厚 0.35 mm の冷延板とした。続いて、この冷延板を、電気量密度を 1 ~ 15 (C/dm²) と変化させ、液温が 90 の 3 % 水酸化ナトリウムに 8 秒浸漬し、電解処理した。次いで、電解処理した冷延板に、露点が -50、vol % 比で H₂ : N₂ = 20 : 80 の雰囲気下、970 で 10 sec の仕上焼鈍を施した。

【0019】

また、仕上焼鈍後の鋼板磁気特性に及ぼすアルカリ処理濃度の影響を調査するため、次のように鋼板を製造した。C : 0.0028 mass %、Si : 3.2 mass %、Mn : 0.6 mass %、P : 0.01 mass %、S : 0.0019 mass %、Al : 0.8 mass %、N : 0.0022 mass %、Ti : 0.0011 mass %、Nb : 0.0007 mass % および O : 0.0020 mass %、Co : 0.0027 % を含有し、残部が Fe および不可避不純物を有する鋼を真空炉で溶製し、鑄造して鋼塊とした。次いで、熱間圧延して板厚 2.2 mm の熱延板とし、980 で 30 sec の熱延板焼鈍を実施し、酸洗した後、冷間圧延して最終板厚 0.35 mm の冷延板とした。続いて、この冷延板を、電気量密度が 4 (C/dm²)、液温が 90 で 0.5 ~ 2.0 % と変化させた水酸化カリウムに 6 秒浸漬し、電解処理した。次いで、電解処理した冷延板に、露点が -55、vol % 比で H₂ : N₂ = 20 : 80 の雰囲気下、980 で 10 sec の仕上焼鈍を施した。

【0020】

さらに、仕上焼鈍後の鋼板磁気特性に及ぼすアルカリ処理温度の影響を調査するため、次のように鋼板を製造した。C : 0.0028 mass %、Si : 3.2 mass %、Mn : 0.6 mass %、P : 0.01 mass %、S : 0.0019 mass %、Al : 0.8 mass %、N : 0.0022 mass %、Ti : 0.0011 mass %、Nb : 0.0007 mass % および O : 0.0020 mass %、Co : 0.0027 % を含有し、残部が Fe および不可避不純物を有する鋼を真空炉で溶製し、鑄造して鋼塊とした。次いで、熱間圧延して板厚 2.2 mm の熱延板とし、980 で 30 sec の熱延板焼鈍を実施し、酸洗した後、冷間圧延して最終板厚 0.35 mm の冷延板とした。続いて、この冷延板を、電気量密度が 4 (C/dm²)、液温を 20 ~ 150 まで変化させた 3 % の水酸化カルシウムに 4 秒浸漬し、電解処理した。次いで、電解処理した冷延板に、露点が -55、vol % 比で H₂ : N₂ = 20 : 80 の雰囲気下、980 で 10 sec の仕上焼鈍を施した。

【0021】

また、仕上焼鈍後の鋼板磁気特性に及ぼすアルカリ処理時間の影響を調査するため、次のように鋼板を製造した。C : 0.0028 mass %、Si : 3.2 mass %、Mn : 0.6 mass %、P : 0.01 mass %、S : 0.0019 mass %、Al : 0.8 mass %、N : 0.0022 mass %、Ti : 0.0011 mass %、Nb :

0.0007 mass % および O : 0.0020 mass %、Co : 0.0027 % を含有し、残部が Fe および不可避不純物を有する鋼を真空炉で溶製し、鑄造して鋼塊とした。次いで、熱間圧延して板厚 2.2 mm の熱延板とし、980 で 30 sec の熱延板焼鈍を実施し、酸洗した後、冷間圧延して最終板厚 0.35 mm の冷延板とした。続いて、この冷延板を、電気量密度が 3 (C/dm²)、液温が 35 の 3 % の水酸化ナトリウムに 5 ~ 30 秒変化させて浸漬し、電解処理した。次いで、電解処理した冷延板に、露点が一60、vol % 比で H₂ : N₂ = 20 : 80 の雰囲気下、980 で 10 sec の仕上焼鈍を施した。

【0022】

かくして得た仕上焼鈍板の圧延方向 (L 方向) および幅方向 (C 方向) から、幅 30 mm × 長さ 180 mm の試験片を切り出し、エプスタイン試験にて (L + C) 方向の高磁束密度域の鉄損 W_{17/50} を測定した。さらに、鋼板表層の窒素量 (N as Al N)、鋼板板厚中心部の窒素量を抽出残渣にて分析を行った。

【0023】

測定の結果を図 3、図 4、図 5、図 6 に示す。電解アルカリ処理の電気量密度が 3 ~ 12 (C/dm²)、アルカリ処理濃度が 1 ~ 10 %、アルカリ処理時間が 1 ~ 15 秒、及びアルカリ処理温度が 30 ~ 120 で鉄損の低下が認められた。これは、電気量密度が低い、アルカリ処理濃度が低い、アルカリ処理温度が低い、又はアルカリ処理時間が短いと鋼板表面の脱脂が不十分となり、仕上焼鈍時に Co を含む酸化層が形成されず仕上焼鈍時に窒化物が生じてしまうためである。また、電気量密度が高い、アルカリ処理濃度が高い、アルカリ処理温度が高い、又はアルカリ処理時間が長いと、仕上焼鈍時に生じる鋼板表層の酸化層が厚くなり、その酸化膜を介し仕上焼鈍時の窒化が促進されるためであると考えられる。

【0024】

上記の結果から、鋼中に含まれる Co の含有量を所定の範囲に設定し、仕上焼鈍前の鋼板に所定の条件で電解アルカリ脱脂処理し、低露点で仕上焼鈍を行うことにより、鋼板表層の窒素量を抑制し、鉄損を低減することができることを見出し、本発明を開発した。

【0025】

<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説明する。

まず、無方向性電磁鋼板の成分組成の限定理由について説明する。なお、成分に関する「%」表示は、とくに断らない限り「質量%」を意味する。

【0026】

C : 0.0050 % 以下

C は、磁気時効を起こし、炭化物を形成して析出し、鉄損特性を劣化させる有害元素である。そのため C 含有量は 0.0050 % 以下に制限する。好ましくは、C 含有量は 0.0040 % 以下である。なお、C 含有量の下限は、特に規定しないが、精錬工程での脱炭コストを抑制する観点から、0.0001 % 程度とするのが好ましい。

【0027】

Si : 2.0 ~ 6.5 %

Si は、鋼の固有抵抗を高め、鉄損を低減する効果がある。また、固溶強化により鋼の強度を高める効果があるため、Si 含有量は 2.0 % 以上とする。一方、6.5 % を超えると、圧延することが困難になるため、Si 含有量の上限は 6.5 % とする。好ましくは、Si 含有量は 2.5 ~ 6.0 % である。

【0028】

Mn : 0.05 ~ 2.00 %

Mn は、Si と同様、鋼の固有抵抗と強度を高めるのに有用な元素である。また、硫化物を形成して熱間脆性を改善する元素でもあるので、Mn 含有量は 0.05 % 以上とする。一方、Mn 含有量が 2.00 % を超えると、スラブ割れ等を引き起こして、製鋼での操業性を悪化するため、上限は 2.00 % とする。好ましくは、Mn 含有量は 0.10 ~ 1

10

20

30

40

50

． 5 0 % の範囲である。

【 0 0 2 9 】

P : 0 . 1 0 % 以下

P は、固有抵抗を高めて、渦電流損を低減する効果が高い元素であるため、適宜添加することができる。しかし、P の過剰な添加は、冷間圧延性の悪化を招くので、P 含有量の上限は 0 . 1 0 % とする。好ましくは、P 含有量は 0 . 0 5 % 以下である。

上記効果を得るためには、P 含有量は、0 . 0 0 1 % 以上とすることが好ましい。

【 0 0 3 0 】

S : 0 . 0 0 5 0 % 以下

S は、硫化物となって析出物や介在物を形成し、製造性（熱間圧延性）や製品板の磁気特性を低下させるので、少ないほど好ましい。そこで、本発明では S 含有量の上限を 0 . 0 0 5 0 % とする。好ましくは、S 含有量は 0 . 0 0 3 0 % 以下である。

【 0 0 3 1 】

Al : 0 . 3 ~ 2 . 0 %

Al は、Si と同様、鋼の固有抵抗を高めて、鉄損を低減する効果がある。しかし、Al 含有量が 2 . 0 % を超えると鋼が脆化し、圧延することが困難になるため、上限は 2 . 0 % とする。一方、Al 含有量が 0 . 3 % 未満となると、微細な窒化物を形成して析出し、却って鉄損特性を悪化させるため、下限は 0 . 3 % とする。好ましくは、Al 含有量は 0 . 4 ~ 1 . 5 % である。

【 0 0 3 2 】

N : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %

N は、窒化物を形成して磁気特性を劣化させる有害元素であるため、0 . 0 0 5 0 % 以下に制限する。一方、N 含有量を 0 . 0 0 1 0 % 以下に制限することは精練工程でのコストが著しく高くなるため、下限は 0 . 0 0 1 0 % とする。好ましくは、N 含有量は 0 . 0 0 1 5 ~ 0 . 0 0 4 0 % である。

【 0 0 3 3 】

Co : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 1 0 %

Co は、上記で説明したように、仕上焼鈍時の窒化を抑制する効果があるため、Co 含有量は 0 . 0 0 1 0 % 以上とする。一方、Co 含有量が 0 . 0 1 0 % を超えると、理由は定かではないが電解アルカリ前処理によって Co を含む酸化被膜層（窒化抑制層）が形成されなくなるため、0 . 0 1 0 % 以下に制限する。好ましくは、Co 含有量は 0 . 0 0 2 ~ 0 . 0 0 7 % である。

【 0 0 3 4 】

Ti : 0 . 0 0 3 0 % 以下

Ti は、微細な炭窒化物を形成して析出し、鉄損を増加させる有害元素である。特に Ti 含有量が 0 . 0 0 3 0 % を超えると、上記の悪影響が顕著になるため、上限を 0 . 0 0 3 0 % とする。好ましくは、Ti 含有量は 0 . 0 0 2 0 % 以下である。

【 0 0 3 5 】

Nb : 0 . 0 0 3 0 % 以下

Nb は、微細な炭窒化物を形成して析出し、鉄損を増加させる有害元素である。特に Nb 含有量が 0 . 0 0 3 0 % を超えると、上記の悪影響が顕著になるため、上限を 0 . 0 0 3 0 % とする。好ましくは、Nb 含有量は 0 . 0 0 2 0 % 以下である。

【 0 0 3 6 】

O : 0 . 0 0 5 0 % 以下

O は、酸化物を形成し、磁気特性を劣化させる有害元素であるため、O 含有量は 0 . 0 0 5 0 % 以下に制限する。好ましくは、O 含有量は 0 . 0 0 4 0 % 以下である。

【 0 0 3 7 】

本実施形態に係る無方向性電磁鋼板は、上記成分以外の残部は、Fe 及び不可避免的不純物である。特性向上のため、上記の無方向性電磁鋼板の成分組成に加えて、さらに、下記の A から C 群のうちから選ばれる少なくとも一群の成分を含有することが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

A群；S n：0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 %、S b：0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 %のうちから選ばれる1種又は2種

S nおよびS bは、再結晶集合組織を改善し、磁束密度や鉄損を改善する効果がある。上記効果を得るためには、S nおよびS bの含有量は、それぞれ0 . 0 0 5 %以上の添加が必要である。しかし、S nおよびS bの含有量は、それぞれ0 . 2 0 %を超えて添加しても、上記効果が飽和してしまう。よって、S nおよびS bの含有量は、それぞれ0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 0 %とするのが好ましい。

【 0 0 3 9 】

B群；C u、N iおよびC rから選ばれる1種又は2種以上：合計で0 . 0 3 ~ 1 . 0 %

10

C u、N i、C rは、固有抵抗を上昇させ、鉄損を低減する効果がある。上記効果を得るためには、C u、N i、C rから選ばれる1種又は2種以上の含有量の合計は、0 . 0 3 %以上とする。C u、N i、C rから選ばれる1種又は2種以上の含有量の合計で1 . 0 %以上の添加はコストの上昇を招く。よって、C u、N i、C rから選ばれる1種又は2種以上の含有量の合計は、0 . 0 3 ~ 1 . 0 %とすることが好ましい。より好ましくは、C u、N i、C rから選ばれる1種又は2種以上の含有量の合計は、0 . 0 5 ~ 0 . 8 %である。

【 0 0 4 0 】

C群；C a、M gおよびR E Mから選ばれる1種又は2種以上：合計で0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 %

20

C a、M gおよびR E Mは、安定な硫化物を形成し、粒成長性を改善する効果がある。上記効果を得るためには、C a、M gおよびR E Mの1種又は2種以上の含有量の合計は、0 . 0 0 0 5 %以上とする。しかし、0 . 0 2 0 %を超えて添加しても、上記効果は飽和してしまう。よって、C a、M gおよびR E Mの1種又は2種以上の含有量の合計は、0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 %とするのが好ましい。

【 0 0 4 1 】

特性向上のため、上記の無方向性電磁鋼板の成分組成に加えて、さらに、下記のDからG群のうちから選ばれる少なくとも一群の成分を含有することが好ましい。

【 0 0 4 2 】

D群；G eおよびG aから選ばれる1種または2種：合計で0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 %

30

G eおよびG aは、集合組織を改善する効果を有する元素である。G eおよびG aの一方または両方を添加する場合、前記効果を得るために、G eおよびG aの合計含有量が0 . 0 0 0 5 %を下回ると十分ではなく、0 . 0 0 0 5 %以上とする。G eおよびG aの合計含有量は、好ましくは0 . 0 0 2 0 %以上とする。

一方、G eおよびG aの合計含有量が0 . 0 1 %を超えて添加しても、上記効果が飽和し、合金コストが上昇するだけである。よって、G eおよびG aの合計含有量は0 . 0 1 %以下とし、好ましくは0 . 0 0 5 0 %以下の範囲である。

【 0 0 4 3 】

E群；Z n：0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

40

Z nは、仕上焼鈍時の窒化を抑制する効果を有する元素である。Z nを添加する場合、Z n含有量は0 . 0 0 1 m a s s %以上、好ましくは0 . 0 0 2 %以上とする。一方、Z n含有量が0 . 0 5 m a s s %を超えると、Z nが硫化物を形成して、かえって鉄損が増加する。そのため、Z n含有量は、0 . 0 5 m a s s %以下に制限する。Z n含有量は、好ましくは0 . 0 0 2 ~ 0 . 0 1 m a s s %の範囲である。

【 0 0 4 4 】

F群；M o、A sおよびWから選ばれる1種または2種以上：合計で0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 %

M oおよびA s、Wは、高温強度を向上させる効果を有する元素であり、M o、A sおよびWの1種または2種以上を添加することにより、無方向性電磁鋼板の表面欠陥（ヘゲ）を抑制することができる。

50

本発明の鋼板は、高合金鋼であり、表面が酸化され易いため、表面割れに起因するヘゲの発生率が高い。そこで、Mo、AsおよびWの1種または2種以上を添加することにより、上記割れを抑制することができる。

Mo、AsおよびWの1種または2種以上を添加する場合、上記効果を十分に得るために、Mo、AsおよびWの合計の含有量は、0.001%以上、好ましくは0.005%以上とする。一方、合計の含有量が0.05%を超えると上記効果が飽和し、合金コストが上昇する。そのため、合計の含有量は、0.05%以下、好ましくは0.02%以下とする。

【0045】

G群；B、PbおよびVから選ばれる1種または2種以上：合計で0.0001～0.01%

10

B、PbおよびVは、粒界偏析し鋼板の靱性を向上させる効果を有する元素であり、B、PbおよびVの1種または2種以上を添加することにより、無方向性電磁鋼板の靱性を向上させることができる。

本発明の鋼板は、高合金鋼であり、靱性としては低くなるおそれがある。そこで、B、PbおよびVの1種または2種以上を添加することにより、靱性を向上させることができる。B、PbおよびVの1種または2種以上を添加する場合、上記効果を十分に得るために、B、PbおよびVの合計の含有量は0.0001%以上、好ましくは0.0005%以上とする。一方、合計含有量が0.01%を超えると炭窒化物を形成し鉄損の増加を招く。そのため、合計含有量は、0.01%以下とし、好ましくは0.0050%以下とする。

20

【0046】

鋼板の表面にSi、Al及びCoを含有する酸化物層

Si、Al及びCoを含有する酸化物層は、鋼板表面における窒化を抑制し、低鉄損を実現する。したがって、少なくとも一方の鋼板の表面に、Si、Al及びCoを含有する酸化物層を有する。また、その酸化物は非晶質であってもよく、結晶相でもよく、また非晶質と結晶質の複合酸化物でもよい。酸化物層に含まれる非晶質相および結晶相の合計に対する結晶相の割合は、0%以上30%以下が好ましく、0%以上10%以下がより好ましい。

【0047】

30

酸化物層中のAl濃度が10at%以上

酸化物層に含まれる元素の内、窒化抑制効果を有するのはAl及びCoであり、Al濃度は、10at%以上であることが好ましい。Al濃度が高くなると、より緻密な酸化膜となるため、仕上焼鈍時の窒化抑制効果が大きくなるためである。

Coは添加量が微量であり、酸化物層内に含まれれば窒化抑制効果を発揮し、その濃度による効果の差異は微細であり、添加量は特に限定されない。

Al濃度が10at%以上である本酸化被膜を得るためには、電解アルカリ処理の電気量密度を5～10(C/dm²)とすることが好ましい。

【0048】

上記酸化層の厚さは、窒化を抑制する観点からその厚みを5nm以上とするのが好ましい。一方、酸化層が過度に厚い場合、鋼板の占積率が低下するため酸化層の厚みは50nm以下とすることが好ましい。

40

【0049】

結晶相の割合および酸化層厚みは、透過型電子顕微鏡(TEM)および走査型透過電子顕微鏡(STEM)観察並びにエネルギー分散型X線分光法(EDS)分析より測定することができる。

具体的には、1nm以下のビーム系にて5万倍以上にてSTEM-EDS元素分布mapを測定し、その後30万倍以上にてTEM像を取得する。得られたSTEM-EDS元素分布mapとTEM像より、AlおよびOの存在する領域かつ格子縞の確認できる領域を結晶相、それ以外のAlおよびOの存在領域を非晶質相とする。続いて、両者の面積を

50

求めその結果から非晶質相および結晶相の合計面積に対する結晶相の面積比を計算する。

または、酸化層厚みはSTEM - EDS元素分析mapのAl領域の厚みを測定すれば良い。具体的には0.5nmの間隔でEDS - ラインプロファイルを取得し、得られたAl、Si、CoおよびOの元素分布よりOのweight fractionが10%以上、Al、Si、Coのweight fractionが3%以上の領域を酸化層として扱う。

なお、酸化層中にFeが含有していても良く、酸化層中のFe濃度は特に上限は限定されないが、Al若しくはSi、または両者の合計に対する割合として100%未満であることが好ましい。測定はSTEM - EDS (10万倍) 等で実施できる。

【0050】

鋼板の表面から板厚1/20までの層内においてAlNとして存在する鋼板表層の窒素量(NasAlN)が0.01質量%以下

鋼板表層に微細なAlNの析出が存在すると、高磁束密度域の鉄損が増加し、磁気特性が劣化する。そのため、AlNの形成を抑制する必要がある、そのAlNの指標として、AlNとして存在する窒素量で表すこととし、このAlNとして存在する鋼板表層の窒素量(NasAlN)は0.01質量%以下である。

【0051】

鋼板板厚中心部の窒素量Ncと前記鋼板表層の窒素量(NasAlN)は(1)式を満足(NasAlN)/Nc 3.0・・・(1)

鋼板表面から板厚1/20までの層(表層)においてAlNを形成している窒素量と鋼板板厚中心部の窒素量との比は高磁束密度域の鉄損と強い相関がある。窒素量の比が3.0以下で鉄損が大きく低下するため、窒素量の比は3.0以下とした。

【0052】

磁気特性：鋼板の鉄損が3.2W/kg以下

鉄損が3.2W/kgを超えると、モータが高トルク域で駆動する際に、モータが発熱したり、モータの効率が低下したりすることが認められる。そのため、鋼板の鉄損は3.2W/kg以下とする。

【0053】

<無方向性電磁鋼板の製造方法>

次に、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説明する。

上記した成分組成を有する鋼スラブを熱間圧延して熱延板とする熱間圧延工程と、熱延板を焼鈍し、もしくは焼鈍せずに1回の冷間圧延または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延して冷延板とする冷間圧延工程と、冷延板を電解脱脂処理する電解脱脂処理工程と、電解脱脂処理された冷延板に仕上焼鈍を行う施す仕上焼鈍工程と、を含み、電解脱脂処理は電気量密度を3~12(C/dm²)、濃度が1~10%、液温が30~120のアルカリ液によって1秒~15秒、仕上焼鈍時は露点を-70~-10、とする無方向性電磁鋼板の製造方法である。以下、具体的に説明する。

【0054】

鋼スラブ

まず、本実施形態に係る無方向性電磁鋼板の製造に用いる鋼スラブは、上記した本発明に適合する成分組成を有する鋼を、転炉や電気炉、真空脱ガス装置等を用いた通常、公知の精錬プロセスで溶製し、常法の連続鋳造法あるいは造塊 - 分塊圧延法で製造することができる。なお、直接鋳造法で100mm以下の厚さの薄鋳片を製造してもよい。

【0055】

熱間圧延工程

次いで、鋼スラブは、通常、公知の方法で熱間圧延して熱延板とする。この際、鋼スラブは、通常、加熱炉で所定の温度に再加熱してから熱間圧延に供するが、鋳造後、再加熱することなく直ちに熱間圧延に供してもよい。また、薄鋳片の場合は、熱間圧延してもよいし、熱間圧延を省略して、そのまま以後の工程に進めてもよい。

【0056】

10

20

30

40

50

熱延板焼鈍

次いで、熱延板を焼鈍するか、もしくは焼鈍せずにそのまま以後の工程に進めてもよい。熱間圧延に続く熱延板焼鈍は、均熱温度を $800 \sim 1100$ の範囲とするのが好ましい。均熱温度が 800 未満では、熱延板焼鈍の効果が小さく、磁気特性の十分な改善効果が得られず、一方、均熱温度が 1100 を超えると、結晶粒が粗大化して、冷間圧延時の脆性破壊（板破断）を助長したり、製造コスト的に不利となったりする。また、均熱時間は、生産性を確保する観点から、 3 min 以下とするのが好ましい。より好ましくは、均熱温度は $850 \sim 1000$ 、均熱時間は 1 min 以下である。

【0057】

冷間圧延工程

冷間圧延は、酸洗を経た熱延焼鈍板に、冷間で圧延して製品板の板厚（最終板厚）とする工程である。

熱延板焼鈍後の鋼板は、次いで、1回の冷間圧延または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延により最終板厚の冷延板とする。冷間圧延の最終板厚（製品板厚）は、特に限定されないが鉄損の低減効果を得る観点から 0.50 mm 以下とするのが好ましい。

【0058】

電解脱脂処理工程

次いで、上記冷延板をアルカリ液による電解処理する。電解アルカリ処理の条件は、仕上焼鈍時の窒化抑制層（酸化層）を形成させるため、電気量密度を $3 \sim 12 (\text{C} / \text{dm}^2)$ 、アルカリ液濃度が $1 \sim 10 \%$ 、処理温度 $30 \sim 120$ で $1 \sim 15$ 秒である。ここでアルカリ液は、水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム、およびオルトケイ酸ソーダのいずれかの1種を選択する。

また、 Al 濃度が $10 \text{ at} \%$ 以上である酸化層を得るためには、電気量密度を $5 \sim 10 (\text{C} / \text{dm}^2)$ とすることが好ましい。

【0059】

仕上焼鈍工程

次いで、電解脱脂処理された冷延板に仕上焼鈍を施す。本発明では、仕上焼鈍は、低露点で実施する。具体的には、露点は $-70 \sim -10$ で仕上焼鈍を実施する。これは露点が -10 を超えると鋼板の内部に酸化層が形成され、狙いとする鋼板の表層に窒化抑制層（酸化層）が形成されないためである。また、 -70 未満の低露点は工業的にかかるコストが大きくなるため、仕上焼鈍の露点は $-70 \sim -10$ とする。

【0060】

また、仕上焼鈍では結晶粒径を粗大化させて、鉄損をさらに低減する観点から、仕上焼鈍における均熱温度は $900 \sim 1200$ とすることが好ましく、 $1000 \sim 1100$ とすることがより好ましい。同様の理由から、仕上焼鈍における均熱時間は $1 \sim 120 \text{ sec}$ とすることが好ましく、 $5 \sim 60 \text{ sec}$ とすることがより好ましい。

【0061】

上記仕上焼鈍を施した鋼板は、その後、必要に応じて絶縁被膜を被成して製品板とする。上記絶縁被膜は、無機、有機、無機と有機の混合のいずれでもよく、特に制限はない。

【実施例】

【0062】

表1—1から1—7に示す種々の成分組成を有するスラブを 1100 で 30 min 加熱した後、熱間圧延して板厚 1.9 mm の熱延板とした。次いで、上記熱延板に 980×30 秒の条件で熱延板焼鈍を施し、酸洗した後、冷間圧延して最終板厚の冷延板とし、この冷延板にアルカリ処理を行った後、仕上焼鈍（誘導加熱と輻射加熱）を施し、製品板とした。なお、上記冷間圧延、電解脱脂処理および仕上焼鈍の条件は表2—1から2—7に示した。

【0063】

斯くして得た製品板からサンプルを採取し、圧延方向（L方向）および幅方向（C方向）から、幅 $30 \text{ mm} \times$ 長さ 180 mm の試験片を切り出し、エプスタイン試験にて（L +

10

20

30

40

50

C) 方向の鉄損 $W_{17/50}$ を測定した。また、上記サンプルから試験片を採取し、電解抽出分析して、鋼板表面から板厚 $1/20$ の深さまでの窒素濃度 $N(\text{mass}\%)$ と鋼板中心部の窒素濃度 $N(\text{mass}\%)$ を分析した。また、TEM、STEMにて表層の酸化層の厚さを観察した。

【0064】

上記の結果を表2—1から2—7に併記した。この結果から、本発明に適合する成分組成を有する鋼素材（スラブ）を用いて、本発明に適合する条件で製造した鋼板は、いずれも優れた鉄損特性を有していることがわかる。また、発明例の鋼板表面には、Coを有するFe-Si-Al酸化層が確認された。

なお、鉄損については、 50Hz 、 1.7T で励磁した際の鉄損値が 3.2W/kg 以下の鋼板を発明例とした。

10

また、鋼種No. 14、15、18は、スラブ割れが発生したため、鋼板特性を評価できなかった。No. 21は、冷間圧延で割れが発生し、No. 64は、熱間圧延で割れが発生したため、いずれも鋼板特性を評価できなかった。

【0065】

本発明によれば、磁束密度の低下を招くことなく高磁束密度域での鉄損低減が図れるので、ハイブリッド電気自動車や電気自動車、発電機、エアコンコンプレッサー、掃除機、工作機械等のモータコア用材料として好適に用いることができる。

【0066】

20

30

40

50

【表 1 - 1】

No.	化学成分 (m a s s %)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
1	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0011	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
2	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
3	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
4	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
5	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0002	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
6	0.0025	1.9	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.0025	3.8	0.5	0.01	0.0019	0.6	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.2	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0019	0.03	-	-	-	-	-	-	-
13	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
14	0.0029	3.5	2.5	0.01	0.0024	0.5	0.0021	0.0008	0.0011	0.0021	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0.0025	3.3	0.1	0.01	0.0024	2.5	0.0045	0.0008	0.0011	0.0021	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0.0019	4.2	0.3	0.01	0.0015	0.3	0.0026	0.0014	0.0012	0.0019	0.0027	-	0.01	-	-	-	-	-	-
17	0.0019	5.6	0.3	0.01	0.0015	0.3	0.0027	0.0014	0.0012	0.0019	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0.0022	7.2	0.2	0.01	0.0024	0.3	0.0038	0.0008	0.0011	0.0021	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0.0021	4.0	0.4	0.01	0.0026	0.6	0.0032	0.0011	0.0013	0.0028	0.0024	0.03	-	-	-	-	-	-	-
20	0.0021	4.0	0.4	0.01	0.0026	0.6	0.0032	0.0011	0.0013	0.0028	0.0024	0.03	-	-	-	-	-	-	-

【 0 0 6 7 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

No.	化学成分 (mass %)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
21	0.0026	3.2	0.1	0.25	0.0026	1.5	0.0025	0.0011	0.0013	0.0028	0.0024	0.06	-	-	-	-	-	-	-
22	0.0024	3.4	1.2	0.01	0.0019	0.9	0.0024	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	0.03	-	-	-	-	-	-	-
23	0.0024	3.3	1.8	0.01	0.0019	0.7	0.0024	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	0.03	-	-	-	-	-	-	-
24	0.0018	3.5	0.2	0.01	0.0015	0.9	0.0021	0.0012	0.0009	0.0027	0.0021	-	0.05	-	-	-	-	-	-
25	0.0017	3.6	0.5	0.01	0.0024	0.8	0.0027	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	-	-	-	-	-	0.0034	-	-
26	0.0017	3.6	0.5	0.01	0.0026	0.8	0.0027	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	-	-	-	-	-	-	0.0025	-
27	0.0017	3.6	0.5	0.01	0.0027	0.8	0.0027	0.0016	0.0014	0.0027	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	0.0072
28	0.0025	3.3	0.6	0.01	0.0059	0.9	0.0089	0.0018	0.0013	0.0029	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
29	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0041	0.0013	0.0029	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
30	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0007	0.0038	0.0029	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
31	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0007	0.0011	0.0084	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
32	0.0025	3.8	0.2	0.01	0.0015	0.5	0.0081	0.0007	0.0011	0.0021	0.011	0.04	-	-	-	-	-	-	-
33	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.0023	0.7	0.0024	0.0012	0.0013	0.0023	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-
34	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.0023	0.7	0.0024	0.0012	0.0013	0.0023	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-
35	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.0023	0.7	0.0024	0.0012	0.0013	0.0023	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-
36	0.0026	3.4	0.9	0.01	0.0026	1.4	0.0039	0.0018	0.0012	0.0021	0.0023	0.03	-	-	-	-	-	-	-
37	0.0026	3.4	0.9	0.01	0.0026	1.4	0.0039	0.0018	0.0012	0.0021	0.0023	0.03	-	-	-	-	-	-	-
38	0.0026	3.4	0.9	0.01	0.0026	1.4	0.0039	0.0018	0.0012	0.0021	0.0023	0.03	-	-	-	-	-	-	-
39	0.0025	3.7	0.8	0.01	0.0021	0.8	0.0031	0.0013	0.0013	0.0032	0.0031	0.03	-	-	-	-	0.0029	-	-
40	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-

【 0 0 6 8 】

10

20

30

40

【表 1 - 3】

No.	化学成分 (mass %)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
41	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
42	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
43	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
44	0.0029	2.6	0.5	0.01	0.0022	0.7	0.0035	0.0019	0.0008	0.0023	0.0023	0.04	-	-	-	-	-	-	-
45	0.0029	2.6	0.5	0.01	0.0022	0.7	0.0035	0.0019	0.0008	0.0023	0.0026	0.04	-	-	-	-	-	-	-
46	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	-	-	-	-
47	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.04	-	-	-	-	-
48	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.2	-	-	-	-	-
49	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.5	-	-	-	-	-
50	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.8	-	-	-	-	-
51	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.04	-	-	-	-
52	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.2	-	-	-	-
53	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.5	-	-	-	-
54	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.8	-	-	-	-
55	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.04	-	-	-
56	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.2	-	-	-
57	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.5	-	-	-
58	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	-	0.8	-	-	-
59	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.1	0.1	0.1	-	-	-
60	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.3	-	0.3	-	-	-

【 0 0 6 9 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 4】

No.	化学成分 (mass %)																		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM
61	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	-	0.3	0.3	-	-	-
62	0.0025	2.9	0.6	0.01	0.0025	1.1	0.0038	0.0022	0.0009	0.0025	0.0032	0.03	-	0.3	0.3	0.3	-	-	-
63	0.0074	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0011	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
64	0.0025	3.3	0.04	0.01	0.0024	0.7	0.0045	0.0008	0.0011	0.0021	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0.0025	2.7	0.5	0.01	0.0019	0.2	0.0029	0.0013	0.0011	0.0025	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
66	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
67	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
68	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
69	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.0019	0.8	0.0031	0.0011	0.0009	0.0024	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-
70	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
71	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
72	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
73	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.8	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0020	0.03	-	-	-	-	-	-	-
74	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.2	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0019	0.03	-	-	-	-	-	-	-
75	0.0028	3.2	0.8	0.01	0.0024	1.2	0.0024	0.0008	0.0012	0.0021	0.0019	0.03	-	-	-	-	-	-	-

【 0 0 7 0 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 5】

No.	化学成分 (mass%)														
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr
76	0.005	2.0	0.15	0.006	0.0008	1.5	0.0043	0.0030	0.0002	0.0011	0.0010	-	-	-	-
77	0.0032	2.2	0.05	0.004	0.0014	0.8	0.0024	0.0005	0.0030	0.0015	0.0025	-	-	-	-
78	0.0036	6.5	0.1	0.01	0.0013	0.4	0.0032	0.0008	0.0005	0.0050	0.0011	-	-	-	-
79	0.0021	3.5	2.0	0.10	0.0004	0.5	0.0013	0.0011	0.0008	0.0005	0.0012	-	-	-	-
80	0.0023	3.5	0.5	0.05	0.0050	0.5	0.0013	0.0012	0.0009	0.0018	0.0050	-	-	-	-
81	0.0022	3.8	0.5	0.02	0.0019	2.0	0.010	0.0013	0.0009	0.0016	0.0023	-	-	-	-

【 0 0 7 1 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 6】

No.	化学成分 (mass%)																			
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM	others
82	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.0015
83	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.0045
84	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.021
85	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Mo:0.0029
86	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Mo:0.0300
87	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Zn:0.0068 Mo:0.0050
88	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	W:0.0011
89	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	W:0.014
90	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	W:0.036
91	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0012
92	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ge:0.0024
93	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0034 Ge:0.0042
94	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0067
95	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ge:0.081
96	0.0025	3.5	0.4	0.01	0.002	0.8	0.0031	0.001	0.0009	0.002	0.0027	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Ga:0.0008 Ge:0.0007
97	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0003
98	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0025
99	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0048

【 0 0 7 2 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 7】

No.	化学成分 (mass%)																			
	C	Si	Mn	P	S	Al	Co	Ti	Nb	O	N	Sn	Sb	Cu	Cr	Ni	Ca	Mg	REM	others
100	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0091
101	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	B:0.0002
102	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	B:0.0015
103	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	B:0.0045
104	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	V:0.0001
105	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	V:0.0011
106	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	V:0.0038
107	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Pb:0.0004
108	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Pb:0.0012
109	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	Pb:0.0045
110	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.021 B:0.0001 V:0.0015 Pb:0.0012
111	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0026 Pb:0.0018
112	0.0021	4.1	0.5	0.01	0.002	0.7	0.0024	0.001	0.0013	0.002	0.0022	0.03	-	-	-	-	-	-	-	As:0.0019 V:0.0023 Pb:0.0014

【 0 0 7 3 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 1】

銅種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前の電解アルカリ処理条件					仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 W17/50 (W/kg)	表面 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温度 (℃)	時間 (秒)	急熱 露点 (℃)	輻射加熱 条件 (℃×sec)						
1	0.25	水酸化ナトリウム	4	5	70	5	-68	1000×10	0.0039	1.4	2.80	10	9	発明例
2	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0038	1.4	2.75	20	8	発明例
3	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-60	1000×10	0.0035	1.3	2.68	15	11	発明例
4	0.25	水酸化ナトリウム	9	5	70	5	-45	1000×10	0.0034	1.3	2.70	5	10	発明例
5	0.25	水酸化ナトリウム	12	5	70	5	-40	1000×10	0.0094	3.5	3.45	10	10	比較例
6	0.25	水酸化ナトリウム	12	5	70	5	-40	1000×10	0.004	1.7	3.40	20	10	比較例
7	0.30	水酸化ナトリウム	4	10	70	3	-40	1000×10	0.0035	1.5	2.77	10	9	発明例
8	0.30	水酸化ナトリウム	5	13	70	15	-40	1000×10	0.0041	1.7	2.61	45	12	発明例
9	0.30	水酸化ナトリウム	5	0.5	70	10	-40	1000×10	0.0098	4.1	3.55	3	6	比較例
10	0.30	水酸化ナトリウム	5	8	90	20	-40	1000×10	0.0099	4.1	3.56	65	7	比較例
11	0.30	水酸化ナトリウム	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0035	1.5	2.65	15	10	発明例
12	0.27	水酸化ナトリウム	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0038	2.0	2.62	20	10	発明例
13	0.25	水酸化ナトリウム	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0036	1.8	2.61	20	10	発明例
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
16	0.25	水酸化カリウム	7	7	50	5	-30	980×10	0.0039	1.4	2.59	10	13	発明例
17	0.25	水酸化カリウム	7	7	50	5	-30	980×10	0.0038	1.4	2.59	15	13	発明例
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
19	0.35	水酸化カリウム	8	3	90	12	-40	960×10	0.0036	1.5	2.65	20	12	発明例
20	0.20	水酸化カリウム	8	3	90	12	-40	960×10	0.0035	1.5	2.64	20	12	発明例

【 0 0 7 4 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 2】

鋼種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前の電解アルカリ処理条件						仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 W17/50 (W/kg)	表面 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al 濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温度 (℃)	時間 (秒)	急熱 露点 (℃)	放射加熱 条件 (℃×sec)							
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
22	0.25	オルトケイ酸ソーダ	3	5	30	30	-20	1000×10	0.0041	2.0	2.92	15	8	発明例	
23	0.25	オルトケイ酸ソーダ	3	5	30	30	-20	1000×10	0.0040	1.9	2.91	15	8	発明例	
24	0.27	オルトケイ酸ソーダ	3	3	50	50	-20	1000×10	0.0045	2.1	2.85	35	8	発明例	
25	0.25	水酸化カリウム	5	8	70	20	-20	1000×10	0.0041	2.0	2.78	30	10	発明例	
26	0.25	水酸化カリウム	5	10	100	10	-30	1020×10	0.0035	1.7	2.71	25	10	発明例	
27	0.25	水酸化カリウム	5	10	20	10	-30	1020×10	0.0035	1.7	2.72	20	10	発明例	
28	0.25	水酸化カリウム	6	7	80	5	-40	960×10	0.0044	1.7	3.55	15	10	比較例	
29	0.25	水酸化カリウム	6	7	80	5	-40	960×10	0.0041	1.6	3.65	15	10	比較例	
30	0.25	水酸化カリウム	6	7	80	5	-40	960×10	0.0042	1.6	3.71	15	10	比較例	
31	0.25	水酸化カリウム	6	7	80	5	-40	960×10	0.0041	1.6	3.48	15	10	比較例	
32	0.25	水酸化カリウム	6	7	80	5	-40	960×10	0.05	4.5	3.85	15	10	比較例	
33	0.20	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0039	1.8	2.61	20	13	発明例	
34	0.25	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0038	1.7	2.60	20	13	発明例	
35	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0038	1.7	2.60	25	14	発明例	
36	0.15	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0033	1.4	2.58	25	14	発明例	
37	0.20	水酸化ナトリウム	10	3	90	4	-10	1000×10	0.0032	1.4	2.57	25	14	発明例	
38	0.25	水酸化ナトリウム	10	5	80	4	-10	1000×10	0.0032	1.4	2.55	25	14	発明例	
39	0.25	水酸化ナトリウム	10	5	80	4	-10	1000×10	0.0032	1.0	2.55	25	14	発明例	
40	0.35	水酸化ナトリウム	10	1	85	1	-55	1000×10	0.0043	1.6	2.99	30	15	発明例	

【 0 0 7 5 】

【 表 2 - 3 】

銅 種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前の電解アルカリ処理条件					仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 w17/50 (W/kg)	表面 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温 度 (℃)	時 間 (秒)	急熱 露点 (℃)	照射加熱 条件 (℃×sec)						
41	0.35	水酸化ナトリウム	10	1	85	15	-55	1000×10	0.0042	1.6	2.98	25	14	発明例
42	0.35	水酸化ナトリウム	10	10	85	1	-55	1000×10	0.0041	1.5	2.96	20	13	発明例
43	0.35	水酸化ナトリウム	10	10	85	15	-55	1000×10	0.0041	1.5	2.95	30	15	発明例
44	0.50	水酸化ナトリウム	11	3	90	3	-55	1000×10	0.0039	1.7	3.02	30	9	発明例
45	0.50	水酸化ナトリウム	11	3	90	3	-55	1000×10	0.0039	1.5	3.08	30	9	発明例
46	0.30	水酸化ナトリウム	11	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.85	15	9	発明例
47	0.30	水酸化ナトリウム	11	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.81	15	9	発明例
48	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.79	15	10	発明例
49	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.78	15	10	発明例
50	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.77	15	10	発明例
51	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.80	15	10	発明例
52	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.79	15	10	発明例
53	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.78	15	10	発明例
54	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.77	15	10	発明例
55	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.80	15	10	発明例
56	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.79	15	10	発明例
57	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.78	15	10	発明例
58	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.77	15	10	発明例
59	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.76	15	10	発明例
60	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.75	15	10	発明例

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 4】

銅種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前の電解アルカリ処理条件					仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 W17/50 (W/kg)	表層 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al 濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温 度 (℃)	時 間 (秒)	急熱 露点 (℃)	照射加熱 条件 (℃×sec)						
61	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.74	15	10	発明例
62	0.30	水酸化ナトリウム	5	4	95	5	-55	1000×10	0.0037	1.2	2.73	15	10	発明例
63	0.25	水酸化ナトリウム	5	5	70	5	-68	1000×10	0.01	3.7	3.47	10	12	比較例
64	-	-	-	-	-	-	-	1000×10	-	-	-	-	-	比較例
65	0.30	水酸化ナトリウム	5	3	85	3	-35	1050×10	0.0097	4.0	3.58	15	10	比較例
66	0.25	水酸化ナトリウム	2	5	70	5	-55	1000×10	0.0089	3.3	3.42	20	6	比較例
67	0.25	水酸化ナトリウム	13	5	70	5	-55	1000×10	0.0091	3.4	3.44	20	15	比較例
68	0.25	水酸化ナトリウム	5	0.7	70	5	-55	1000×10	0.011	4.1	3.76	20	15	比較例
69	0.25	水酸化ナトリウム	5	11.5	70	5	-55	1000×10	0.01	3.7	3.71	20	15	比較例
70	0.25	水酸化ナトリウム	5	3	25	3	-35	1050×10	0.0076	3.8	3.72	20	10	比較例
71	0.25	水酸化ナトリウム	5	3	125	3	-35	1050×10	0.0082	4.1	3.78	20	10	比較例
72	0.25	水酸化ナトリウム	5	3	85	0.5	-35	1050×10	0.0095	4.8	3.95	20	10	比較例
73	0.25	水酸化ナトリウム	5	3	85	17	-35	1050×10	0.0087	4.4	3.83	20	10	比較例
74	0.27	水酸化カリウム	5	3	85	5	-70	1050×10	0.0034	1.8	2.59	20	13	発明例
75	0.27	水酸化カリウム	3	1	40	3	-70	1050×10	0.0048	2.7	2.79	20	8	発明例

【 0 0 7 7 】

【表 2 - 5】

銅種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前の電解アルカリ処理条件					仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 W17/50 (W/kg)	表面 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温度 (℃)	時間 (秒)	急熱 露点 (℃)	放射加熱 条件 (℃×sec)						
76	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-68	1030×10	0.0032	3.2	2.78	15	12	発明例
77	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-68	1030×10	0.0034	1.4	2.58	15	11	発明例
78	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-68	1030×10	0.0023	2.1	2.77	15	11	発明例
79	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-68	1030×10	0.0021	1.8	2.87	15	12	発明例
80	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-68	1030×10	0.0089	1.8	2.79	15	11	発明例
81	0.25	水酸化ナトリウム	6	5	70	5	-68	1030×10	0.0032	1.4	2.88	15	12	発明例

【 0 0 7 8 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 6】

銅種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前のアルカリ電解処理条件					仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 W17/50 (W/kg)	表面 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温度 (°C)	時間 (秒)	急熱露点 (°C)	輻射加熱 条件 (°C× s)						
82	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0036	1.3	2.72	20	8	発明例
83	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.70	22	8	発明例
84	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0032	1.2	2.68	24	8	発明例
85	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	発明例
86	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.71	21	8	発明例
87	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	発明例
88	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.71	20	8	発明例
89	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	発明例
90	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.70	22	8	発明例
91	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0036	1.3	2.74	20	8	発明例
92	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0036	1.3	2.74	20	8	発明例
93	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.73	20	8	発明例
94	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0034	1.3	2.70	20	8	発明例
95	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.72	20	8	発明例
96	0.25	水酸化ナトリウム	3	5	70	5	-55	1000×10	0.0035	1.3	2.71	20	8	発明例
97	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0037	1.7	2.58	25	14	発明例
98	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0036	1.6	2.57	25	14	発明例
99	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	1000×10	0.0035	1.6	2.57	25	14	発明例

【 0 0 7 9 】

10

20

30

40

50

【表 2 - 7】

銅種 No.	冷間 圧延 最終 板厚 (mm)	仕上焼鈍前のアルカリ電解処理条件				仕上焼鈍条件		表面の窒化量 N as AlN (mass%)	(N as AlN) /Nc	鉄損 W17/50 (W/kg)	表面 酸化膜 厚さ (nm)	酸化膜 Al濃度 (at%)	備考
		液種	電気量 密度 (C/dm ²)	濃度 (%)	温度 (℃)	時間 (秒)	急熱露点 (℃)						
100	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0035	1.6	2.56	25	14	発明例
101	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0037	1.7	2.59	25	14	発明例
102	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0037	1.7	2.59	25	14	発明例
103	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0037	1.7	2.58	25	14	発明例
104	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0037	1.7	2.58	25	14	発明例
105	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0036	1.6	2.57	25	14	発明例
106	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0035	1.6	2.55	25	14	発明例
107	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0037	1.7	2.58	25	14	発明例
108	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0035	1.6	2.56	25	14	発明例
109	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0034	1.5	2.54	25	14	発明例
110	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0033	1.5	2.53	25	14	発明例
111	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0034	1.5	2.55	25	14	発明例
112	0.30	水酸化ナトリウム	6	3	90	4	-10	0.0033	1.5	2.53	25	14	発明例

10

20

30

40

50

【要約】

磁束密度の低下や生産性の低下を招くことのない、高磁束密度域における低鉄損の無方向性電磁鋼板を提供するとともに、その有利な製造方法を提案する。

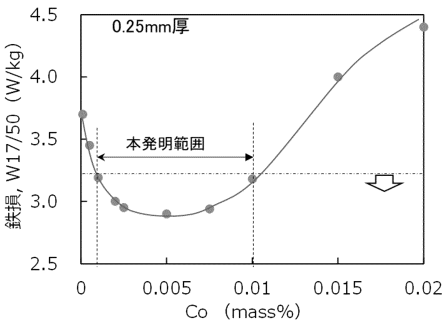
C、Si、Mn、P、S、Al、N、Co、Ti、Nb、Oを含有する成分組成を有し、少なくとも一方の鋼板の表面に、Si、Al及びCoを含有する酸化物層を有し、鋼板表層の窒素量が0.01mass%以下であり、鋼板板厚中心部の窒素量Ncと鋼板表層の窒素量(NasAlN)が下記(1)式を満足し、50Hz、1.7Tで励磁した鋼板の鉄損が3.2W/kg以下の無方向性電磁鋼板である。

上記成分組成を含有する鋼スラブを熱間圧延し、焼鈍し、もしくは焼鈍せずに冷間圧延し、電解脱脂処理し、仕上焼鈍を施す工程を含み、前記電解脱脂処理はアルカリ液の電気量密度、濃度、液温、処理時間が規定され、前記仕上焼鈍は低露点とする無方向性電磁鋼板の製造方法である。

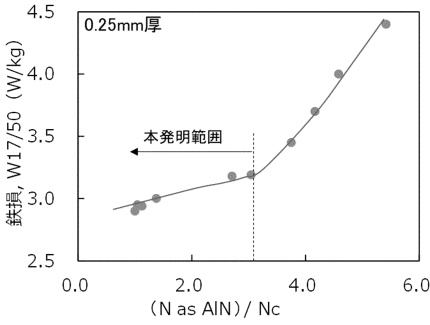
(NasAlN) / Nc 3.0・・・(1)

【図面】

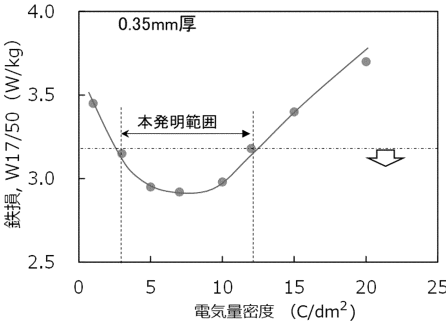
【図1】



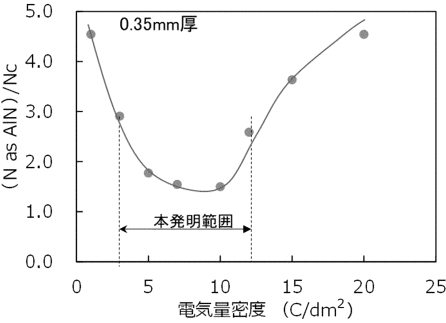
【図2】



【図3A】



【図3B】



10

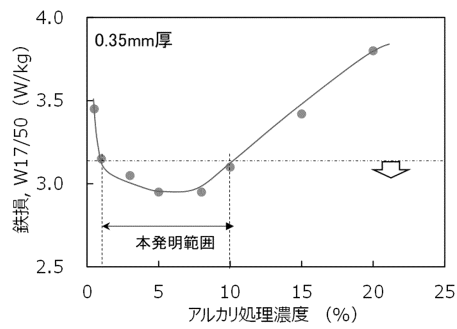
20

30

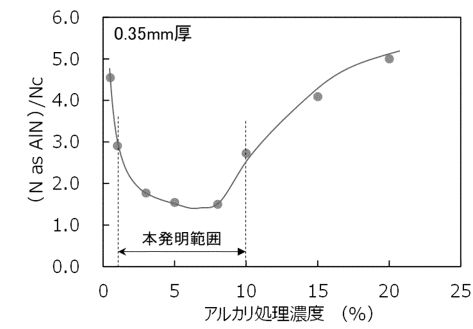
40

50

【図 4 A】

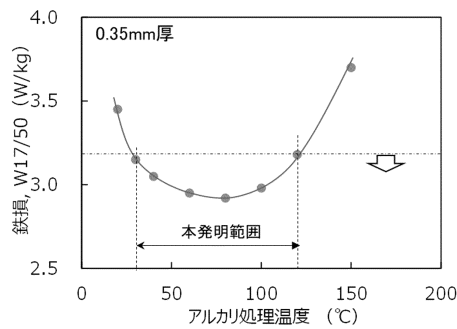


【図 4 B】

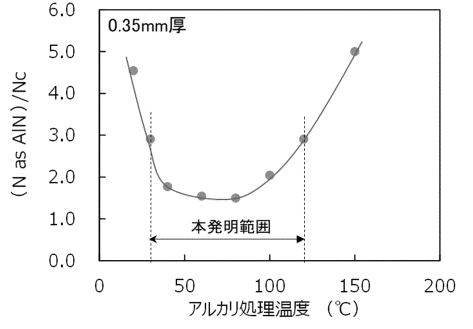


10

【図 5 A】

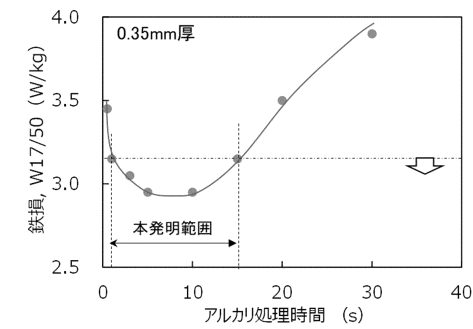


【図 5 B】

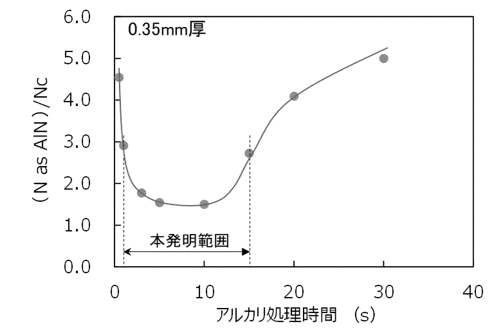


20

【図 6 A】



【図 6 B】



30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社内
(72)発明者 末廣 龍一
東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社内
審査官 鈴木 葉子
(56)参考文献 国際公開第 2 0 2 0 / 1 3 6 9 9 3 (W O , A 1)
特開平 0 2 - 2 4 0 2 1 4 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 2 4 1 5 6 3 (J P , A)
中国特許出願公開第 1 1 4 2 1 4 5 6 1 (C N , 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 1 / 0 0 - 1 1 / 0 0
C 2 5 F 1 / 0 0