

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7616242号  
(P7616242)

(45)発行日 令和7年1月17日(2025.1.17)

(24)登録日 令和7年1月8日(2025.1.8)

(51)国際特許分類		F I		
C 2 1 D	8/12 (2006.01)	C 2 1 D	8/12	B
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	
H 0 1 F	1/147(2006.01)	H 0 1 F	1/147	1 7 5

請求項の数 5 (全17頁)

(21)出願番号	特願2022-571896(P2022-571896)	(73)特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(86)(22)出願日	令和4年6月30日(2022.6.30)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/026423	(74)代理人	100165696 弁理士 川原 敬祐
(87)国際公開番号	WO2023/277170	(72)発明者	下山 祐介 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
(87)国際公開日	令和5年1月5日(2023.1.5)	(72)発明者	新垣 之啓 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
審査請求日	令和4年11月22日(2022.11.22)	(72)発明者	山口 広 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(31)優先権主張番号	特願2021-109709(P2021-109709)		
(32)優先日	令和3年6月30日(2021.6.30)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
前置審査			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 方向性電磁鋼板の製造方法及び方向性電磁鋼板製造用圧延設備

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、

C : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 0 %、

Si : 2 . 0 ~ 4 . 5 %、

Mn : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

Al : 0 . 0 1 0 0 ~ 0 . 0 4 0 0 %、

S 及び Se のいずれか 1 種又は 2 種の合計 : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 %、ならびに

N : 0 . 0 0 5 0 ~ 0 . 0 1 2 0 %

を含有し、残部が Fe 及び不可避的不純物の成分組成を有する鋼素材を熱間圧延して熱延鋼板とし、前記熱延鋼板に 1 回又は中間焼鈍を挟む 2 回以上の冷間圧延を施して最終板厚を有する冷延板とし、次いで前記冷延板に脱炭焼鈍を施したのち二次再結晶焼鈍を施す、方向性電磁鋼板の製造方法であって、

前記 1 回又は 2 回以上の冷間圧延のうち、前記 1 回の場合は当該冷間圧延及び前記 2 回以上の場合は最終回の冷間圧延を最終冷延と定義し、前記最終冷延の直前に行う焼鈍を最終冷延前焼鈍と定義したとき、

前記最終冷延前焼鈍は、800 以下 350 以上の温度域における平均冷却速度を 20 / s 以上として行い、前記最終冷延は、タンデム圧延機を用いて、鋼板を 70 以上 200 以下の温度域に加熱した後 10 秒以内に 60 以下に冷却してから、前記タンデム圧延機の 1 パス目に導入する、方向性電磁鋼板の製造方法。

## 【請求項 2】

質量%で、

C : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 0 %、

Si : 2 . 0 ~ 4 . 5 %、

Mn : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

Al : 0 . 0 1 0 0 % 未満、

S : 0 . 0 0 7 0 % 以下、

Se : 0 . 0 0 7 0 % 以下及び

N : 0 . 0 0 5 0 % 以下

を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物の成分組成を有する鋼素材を熱間圧延して熱延鋼板とし、前記熱延鋼板に 1 回又は中間焼鈍を挟む 2 回以上の冷間圧延を施して最終板厚を有する冷延板とし、次いで前記冷延板に脱炭焼鈍を施したのち二次再結晶焼鈍を施す、方向性電磁鋼板の製造方法であって、

10

前記 1 回又は 2 回以上の冷間圧延のうち、前記 1 回の場合は当該冷間圧延及び前記 2 回以上の場合は最終回の冷間圧延を最終冷延と定義し、前記最終冷延の直前に行う焼鈍を最終冷延前焼鈍と定義したとき、

前記最終冷延前焼鈍は、800 以下 350 以上の温度域における平均冷却速度を 20 / s 以上として行い、前記最終冷延は、タンデム圧延機を用いて、鋼板を 70 以上 200 以下の温度域に加熱した後 10 秒以内に 60 以下に冷却してから、前記タンデム圧延機の 1 パス目に導入する、方向性電磁鋼板の製造方法。

20

## 【請求項 3】

前記鋼素材は、さらに、質量%で、

Sb : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 5 0 0 %、

Cu : 0 . 0 1 ~ 1 . 5 0 %、

P : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 5 0 0 %、

Cr : 0 . 0 1 ~ 1 . 5 0 %、

Ni : 0 . 0 0 5 ~ 1 . 5 0 0 %、

Sn : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

Nb : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 0 0 %、

Mo : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

B : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 0 7 0 % 及び

Bi : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 5 0 0 %

からなる群より選ばれる 1 種又は 2 種以上を含有する、請求項 1 又は 2 に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

30

## 【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の方向性電磁鋼板の製造方法に適用される方向性電磁鋼板製造用圧延設備であって、方向性電磁鋼板の製造ライン上に配置したタンデム圧延機と、前記タンデム圧延機の第 1 スタンドの入側にて前記製造ラインの上流側から順に配置した加熱装置及び冷却装置と、を有する、方向性電磁鋼板製造用圧延設備。

## 【請求項 5】

請求項 3 に記載の方向性電磁鋼板の製造方法に適用される方向性電磁鋼板製造用圧延設備であって、方向性電磁鋼板の製造ライン上に配置したタンデム圧延機と、前記タンデム圧延機の第 1 スタンドの入側にて前記製造ラインの上流側から順に配置した加熱装置及び冷却装置と、を有する、方向性電磁鋼板製造用圧延設備。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、方向性電磁鋼板の製造方法及びこの方法に用いる方向性電磁鋼板製造用圧延設備に関するものである。

## 【背景技術】

50

## 【0002】

方向性電磁鋼板は、変圧器や発電機の鉄心材料として用いられる軟磁性材料で、鉄の磁化容易軸である $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位（Goss方位）が鋼板の圧延方向に高度に揃った結晶組織を有する、磁気特性に優れた鋼板である。

## 【0003】

Goss方位への集積を高める方法としては、例えば特許文献1には、冷間圧延中の冷延板を低温で熱処理し、時効処理を施す方法が開示されている。また、特許文献2には、熱延板焼鈍又は最終冷間圧延前の中間焼鈍時の冷却速度を $30 \text{ / s}$ 以上とし、さらに、最終冷間圧延中に、板温 $150 \sim 300$  で2分間以上のパス間時効を2回以上行う技術が開示されている。さらに、特許文献3には、圧延中の鋼板温度を高めて温間圧延することにより、圧延時に導入された転位を直ちにCやNで固着させる動的歪時効を利用する技術が開示されている。

10

## 【0004】

これら特許文献1～3に記載の技術は、いずれも冷延前、圧延中又は圧延のパス間で鋼板温度を適正温度に保持することによって、固溶元素である炭素（C）や窒素（N）を低温で拡散させ、冷間圧延で導入された転位を固着して、それ以降の圧延での転位の移動を妨げ、剪断変形をより起こさせて、圧延集合組織を改善しようとするものである。これらの技術の適用によって、一次再結晶板の時点でGoss方位種結晶が数多く形成される。二次再結晶時にそれらのGoss方位種結晶が粒成長することにより、二次再結晶後のGoss方位への集積を高めることができる。

20

## 【0005】

また、上記歪時効の効果をさらに高める技術として、特許文献4には、冷間圧延工程の最終冷間圧延の直前の焼鈍工程にて、鋼中に微細カーバイドを析出させておき、この最終圧延を前半部と後半部の二つに分け、前半部では圧下率 $30 \sim 75\%$ の範囲で $140$  以下の低温にて、後半部では少なくとも2回の圧下パスを $150 \sim 300$  の高温にて、かつ前半部、後半部を合わせた総圧下率 $80 \sim 95\%$ で圧延を行うことで、安定してGoss方位に高度に集積した材料を得られる技術が開示されている。また、特許文献5には、タンデム圧延で行う冷間圧延の前に $0.5 \text{ kg / mm}^2$ 以上の張力付与下において $50 \sim 150$ 、 $30 \text{ 秒} \sim 30 \text{ 分間}$ の熱処理を施すことで鋼中に微細カーバイドを析出させる技術が開示されている。

30

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【文献】特開昭50-016610号公報

【文献】特開平08-253816号公報

【文献】特開平01-215925号公報

【文献】特開平09-157745号公報

【文献】特開平04-120216号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

40

## 【0007】

近年では、社会の省エネルギーに対する要請から、低鉄損な方向性電磁鋼板の需要は高まる一方であり、低鉄損な方向性電磁鋼板を安定的に大量に製造する技術の開発が求められている。

## 【0008】

ここに、タンデム圧延機はゼンジマーミルのようなリバースミルに比べて時間当たりの処理量が大きく、方向性電磁鋼板の大量製造に有利である。特許文献1及び2に開示された、圧延中にパス間時効を施す技術では、タンデム圧延のように各パス間の距離が短く、かつライン速度が速い場合に、これら技術にて所期した効果を挙げるできない。また、特許文献3に開示の、タンデム圧延機入側で加熱して圧延する方法では、その鉄損改

50

善効果は不十分であった。その理由を以下に述べる。一次再結晶 G o s s 方位粒は、圧延安定方位の一つである  $\{111\} \langle 112 \rangle$  マトリクス組織内に導入された、剪断帯から核生成すると考えられている。 $\{111\} \langle 112 \rangle$  マトリクス組織は低温での冷間圧延により発達するため、タンデム圧延機入側で加熱して圧延する方法では  $\{111\} \langle 112 \rangle$  マトリクス組織を十分作り込むことができず、結果として一次再結晶 G o s s 方位粒の量が不足したと考えられる。

#### 【0009】

また、特許文献4及び5に記載の、最終冷延前の焼鈍工程でカーバイド析出処理を行う技術では、析出処理後から最終冷延までの経過時間によりカーバイドが粗大化するため、時間の変動により集合組織が変化し、結果製品コイルの鉄損のばらつきが大きくなるという問題点があった。

10

#### 【0010】

そこで、本発明の目的は、上記従来技術が抱える問題点を解決し、鉄損のばらつきが少ない低鉄損な方向性電磁鋼板をタンデム圧延機で安定的に製造することができる、方向性電磁鋼板の製造方法と、この方法に用いる圧延設備とを提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

発明者らは、上記課題を解決するために、方向性電磁鋼板の一連の工程において、冷間圧延前に熱処理を行う手法について鋭意検討を重ねた。以下、この発明に至った実験結果について説明する。

20

#### 【0012】

質量%で、C : 0.037%、Si : 3.4%及びMn : 0.05%を含有し、質量 ppmで、S及びSeをそれぞれ31ppm、Nを50ppm、sol. Alを85ppm含有し、残部がFe及び不可避免的不純物の成分組成からなる鋼スラブを、1210に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。上記熱延板に、1000 x 60秒の熱延板焼鈍を施し、次いで800 から350 までを25 / sで冷却したのち、コイルに巻き取った。得られた熱延焼鈍板を、タンデム圧延機(ロール径300mm、スタンド数5)を用いて、1回のタンデム圧延にて0.20mmの板厚の冷延板とした。

#### 【0013】

その際、圧延機のペイオフロールから1パス目の圧延スタンドの間に設置した加熱装置によって、熱延焼鈍板を、表1に示す通りの、50 ~ 250 の間の種々の温度まで加熱した。加熱後はそのままの温度で1パス目の圧延スタンドに噛み込ませたものと、鋼板温度を加熱後5秒間のうちに60 又は25 にしてから噛み込ませたものと、の二種類のコイルを作製した。また、鋼板を加熱せずに室温のまま1パス目に噛み込ませたコイルも作製した。

30

#### 【0014】

その後、上記冷延板に均熱温度840 、均熱時間100秒とする脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍を施したのち、鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、次いで仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。上記二次再結晶焼鈍後の鋼板表面に、リン酸塩 - クロム酸塩 - コロイダルシリカを質量比3 : 1 : 2で含有する塗布液を塗布し、800 x 30秒の平坦化焼鈍を施し、製品コイルとした。

40

#### 【0015】

製品コイルについて、同じ条件で作製したコイル10個分の鉄損を各々測定し、それらの平均値と標準偏差を求めた。鉄損の測定は、コイルの長手中央部から試料を総重量が500g以上となるように切り出し、エプスタイン試験を実施して行った。この鉄損の測定結果を、上記した加熱温度及び1パス目の噛み込み温度に併せて表1に示す。

#### 【0016】

50

【表 1】

表1

条件No.	加熱温度 (°C)	1パス目噛み込み温度 (°C)	鉄損 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	標準偏差
1	加熱なし(25°C)	25	1.10	0.13
2	50	50	1.08	0.11
3	50	60	1.10	0.10
4	60	60	1.10	0.12
5	70	70	0.98	0.09
6	70	60	0.90	0.04
7	80	80	1.05	0.03
8	80	60	0.88	0.02
9	90	90	1.13	0.04
10	90	60	0.87	0.04
11	100	100	1.09	0.05
12	100	60	0.85	0.03
13	125	125	1.07	0.02
14	125	60	0.86	0.02
15	150	150	1.20	0.04
16	150	60	0.88	0.03
17	175	175	1.25	0.05
18	175	60	0.79	0.04
19	200	200	圧延途中で破断したため評価できず	
20	200	60	0.80	0.04
21	225	225	圧延途中で破断したため評価できず	
22	225	25	1.05	0.05
23	250	250	圧延途中で破断したため評価できず	
24	250	25	1.21	0.04

## 【0017】

表1より、冷間圧延時ペイオフリールから払い出され1パス目に噛み込むまでに鋼板を70以上200以下の温度域の加熱温度まで加熱した場合(200での加熱については、1パス目噛み込み温度60の場合)は、鉄損のばらつきが小さくなることがわかる。さらに、鋼板を70以上200以下の温度域に加熱した後に、1パス目に噛み込むときの鋼板温度を60にした場合は、より低鉄損となっていることが分かる。

## 【0018】

上記実験で、鉄損が低減し、鉄損のばらつきが改善されたメカニズムは定かではないが、発明者らは以下のように考えている。

鉄損のばらつきが改善されたメカニズムとしては、冷間圧延時ペイオフリールから払い出され1パス目に噛み込むまでに鋼板を加熱することにより、加熱してから1パス目に噛み込まれるまでの時間は一定となり、加熱により析出した微細カーバイドの経時変化が抑制できたためと考えられる。また、加熱後1パス目に噛み込ませる前に鋼板温度を低温にした場合に低鉄損となるメカニズムについては、以下のように考えられる。一次再結晶Goss方位粒は圧延安定方位の一つである{111}<112>マトリクス組織内に導入された剪断帯から核生成すると考えられている。

## 【0019】

従って、上記実験のように、鋼板加熱によりカーバイドを微細に析出させ、かつ噛み込

み時の温度は低温とすることにより、低温の圧延加工により { 1 1 1 } < 1 1 2 > マトリクス組織を作り込みつつ、微細カーバイドにより局部的にせん断帯の形成を促進することになり、G o s s 方位粒が効果的に増加したと考えられる。

【 0 0 2 0 】

加えて、発明者らは冷間圧延前の焼鈍工程についても検討を行った。以下に実験の詳細を説明する。

すなわち、前記実験で作製した熱延板に、1 0 0 0 × 6 0 秒の熱延板焼鈍を施し、次いで、8 0 0 から 3 5 0 までの温度域を表 2 に示す種々の冷却速度で冷却した後、コイルに巻き取った。得られた熱延焼鈍板を、タンデム圧延機（ロール径 3 0 0 mm、スタンド数 5）を用いて、1 回のタンデム圧延にて 0 . 2 0 mm の板厚の冷延板とした。その際、圧延機のペイオフロールから 1 パス目の圧延スタンドの間に設置した鋼板加熱装置によって、鋼板を 1 5 0 まで加熱した。加熱後、5 秒間で鋼板温度を室温（2 5 ）にしてから噛み込ませた。

【 0 0 2 1 】

その後、上記冷延板に均熱温度 8 4 0 、均熱時間 1 0 0 秒とする脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍を施したのち、鋼板表面に M g O を主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、次いで仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。上記二次再結晶焼鈍後の鋼板表面に、リン酸塩 - クロム酸塩 - コロイダルシリカを質量比 3 : 1 : 2 で含有する塗布液を塗布し、8 0 0 × 3 0 秒の平坦化焼鈍を施し、製品コイルとした。

【 0 0 2 2 】

製品コイルについて、同じ条件で作製したコイル 1 0 個分の鉄損を各々測定し、それらの平均値と標準偏差を求めた。鉄損の測定は、コイルの長手中央部から試料を総重量が 5 0 0 g 以上となるように切り出し、エプスタイン試験を実施して行った。この鉄損の測定結果を、上記した冷却速度に併せて表 2 に示す。

【 0 0 2 3 】

【表 2】

表2

条件No.	熱延板焼鈍 平均冷却速度 (°C/秒)	鉄損 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	標準偏差
25	5	1.15	0.14
26	10	1.09	0.11
27	15	1.03	0.09
28	20	0.87	0.03
29	25	0.82	0.03
30	30	0.81	0.04

【 0 0 2 4 】

表 2 より、熱延板焼鈍時の冷却速度が 2 0 / 秒以上のものは鉄損のばらつきが小さく、かつ低鉄損となっていることが分かる。

【 0 0 2 5 】

上記実験で、鉄損が低減し、鉄損のばらつきが改善されたメカニズムに関して、発明者らは以下のように考えている。熱延板焼鈍時の冷却速度が大きい場合、鋼中の炭素は多量に固溶している状態にあると考えられるため、そのような鋼中炭素の状態を加熱することにより、微細カーバイドが多量に析出したため、集合組織が改善されたと考えられる。一方、熱延板焼鈍時の冷却速度が小さい場合、鋼中の炭素はカーバイドとして析出すると考えられるため、その状態で加熱してもカーバイドを粗大化させるだけになり、冷間圧延の噛み込み前の加熱による集合組織改善効果が十分得られなかったと考えられる。

これらの知見をもとにさらに検討を行い、本発明を完成させた。

【 0 0 2 6 】

すなわち、本発明の要旨は以下のとおりである。

[ 1 ] 鋼素材を熱間圧延して熱延鋼板とし、前記熱延鋼板に 1 回又は中間焼鈍を挟む 2 回以上の冷間圧延を施して最終板厚を有する冷延板とし、次いで前記冷延板に脱炭焼鈍を施したのち二次再結晶焼鈍を施す、方向性電磁鋼板の製造方法であって、

前記 1 回又は 2 回以上の冷間圧延のうち、前記 1 回の場合は当該冷間圧延及び前記 2 回以上の場合は最終回の冷間圧延を最終冷延と定義し、前記最終冷延の直前に行う焼鈍を最終冷延前焼鈍と定義したとき、

前記最終冷延前焼鈍は、800 以下 350 以上の温度域における平均冷却速度を 20 / s 以上として行い、前記最終冷延は、タンデム圧延機を用いて、鋼板を 70 以上 200 以下の温度域に加熱した後 10 秒以内に 60 以下に冷却してから、前記タンデム圧延機の 1 パス目に導入する、方向性電磁鋼板の製造方法。

10

【 0 0 2 7 】

[ 2 ] 前記鋼素材は、質量%で、

C : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 0 %、

Si : 2 . 0 ~ 4 . 5 %、

Mn : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

Al : 0 . 0 1 0 0 ~ 0 . 0 4 0 0 %、

S : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 %、

Se : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 %、

S 及び Se のいずれか 1 種又は 2 種の合計 : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 %、ならびに

20

N : 0 . 0 0 5 0 ~ 0 . 0 1 2 0 %

を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物の成分組成を有する、前記 [ 1 ] に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

【 0 0 2 8 】

[ 3 ] 前記鋼素材は、質量%で、

C : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 0 %、

Si : 2 . 0 ~ 4 . 5 %、

Mn : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

Al : 0 . 0 1 0 0 % 未満、

S : 0 . 0 0 7 0 % 以下、

30

Se : 0 . 0 0 7 0 % 以下及び

N : 0 . 0 0 5 0 % 以下

を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物の成分組成を有する、前記 [ 1 ] に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

【 0 0 2 9 】

[ 4 ] 前記鋼素材は、さらに、質量%で、

Sb : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 5 0 0 %、

Cu : 0 . 0 1 ~ 1 . 5 0 %、

P : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 5 0 0 %、

Cr : 0 . 0 1 ~ 1 . 5 0 %、

40

Ni : 0 . 0 0 5 ~ 1 . 5 0 0 %、

Sn : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

Nb : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 1 0 0 %、

Mo : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

B : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 0 7 0 % 及び

Bi : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 5 0 0 %

からなる群より選ばれる 1 種又は 2 種以上を含有する、前記 [ 2 ] 又は [ 3 ] に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

【 0 0 3 0 】

[ 5 ] 方向性電磁鋼板の製造ライン上に配置したタンデム圧延機と、前記タンデム圧延機

50

の第1スタンドの入側にて前記製造ラインの上流側から順に配置した加熱装置及び冷却装置と、を有する、方向性電磁鋼板製造用圧延設備。

【発明の効果】

【0031】

本発明によれば、磁気特性に優れ、かつコイル間での鉄損のばらつきが少ない方向性電磁鋼板を、タンデム圧延機を用いて安定的に製造することができる。

【発明を実施するための形態】

【0032】

以下、本発明を詳細に説明する。

<鋼素材>

本発明の製造方法における鋼素材としては、スラブの他、ブルームやビレットを使用することができる。例えば、鋼スラブは、公知の製造方法によって製造されたものを用いることができる。鋼素材の製造方法としては、例えば製鋼 - 連続 casting、造塊 - 分塊圧延法等が挙げられる。製鋼においては、転炉や電気炉等で得た溶鋼を真空脱ガス等の二次精錬を経て所望の成分組成とすることができる。

【0033】

鋼素材の成分組成は、方向性電磁鋼板製造用の成分組成とすることができ、方向性電磁鋼板用の成分組成として公知のものとするすることができる。優れた磁気特性を有する方向性電磁鋼板を製造する観点からは、C、Si及びMnを含有することが好ましい。C、Si及びMnの好適含有量としては、以下が挙げられる。ここで、成分組成に関する「%」表示は、特に断らない限り「質量%」を意味する。

【0034】

C : 0.01 ~ 0.10 %

Cは、微細カーバイドを析出させることで、一次再結晶集合組織を改善するのに寄与する元素である。0.10%超では、脱炭焼鈍により、磁気時効の起こらない0.0050%以下に低減することが困難になる、おそれがある。一方、0.01%未満では、微細カーバイドの析出量が不足し、集合組織改善効果が不十分になる、おそれがある。そのため、C含有量は0.01~0.10%とすることが好ましい。より好ましくは0.01~0.08%である。

【0035】

Si : 2.0 ~ 4.5 %

Siは、鋼の電気抵抗を高め、鉄損を改善するのに有効な元素である。Siの含有量が4.5%超では、加工性が著しく低下するため、圧延して製造することが困難になる、おそれがある。一方、2.0%未満では、十分な鉄損低減効果が得難くなる、おそれがある。そのため、Si含有量は2.0~4.5%とすることが好ましい。より好ましくは、2.5~4.5%である。

【0036】

Mn : 0.01 ~ 0.50 %

Mnは、熱間加工性を改善するために必要な元素である。Mn含有量が0.50%超では、一次再結晶集合組織が劣化し、Goss方位が高度に集積した二次再結晶粒を得るのが困難になる、おそれがある。一方、0.01%未満では、十分な熱延加工性を得るのが困難になる、おそれがある。そのため、Mn含有量は0.01~0.50%とすることが好ましい。より好ましくは0.03~0.50%である。

【0037】

鋼素材の成分組成は、上記したC、Si及びMnに加えて、二次再結晶におけるインヒビター成分として、Al : 0.0100 ~ 0.0400%及びN : 0.0050 ~ 0.0120%を含有することができる。すなわち、Al含有量及びN含有量が上記の下限に満たないと、所定のインヒビター効果を得るのが困難になる、おそれがある。一方、上記の上限を超えると、析出物の分散状態が不均一化し、やはり所定のインヒビター効果を得るのが困難になる、おそれがある。

10

20

30

40

50

## 【0038】

さらに、Al、Nに加えて、インヒビター成分として、S及びSeのいずれか1種又は2種の合計：0.01～0.05%を含有させてもよい。これらを含有させることにより、硫化物(MnS、Cu<sub>2</sub>S等)、セレン化物(MnSe、Cu<sub>2</sub>Se等)を形成させることができる。硫化物、セレン化物は複合して析出させてもよい。ここで、S含有量及びSe含有量が上記の下限に満たないと、インヒビターとしての効果を十分に得ることが難しくなる、おそれがある。一方、上記の上限を超えると、析出物の分散が不均一化し、やはりインヒビター効果を十分に得ることが難しくなる、おそれがある。

## 【0039】

また、成分組成として、Al含有量を0.0100%未満に抑制し、インヒビターレス系に適合させることもできる。この場合、N：0.0050%以下、S：0.0070%以下、Se：0.0070%以下とすることができる。

10

## 【0040】

さらにまた、磁気特性改善のために、上記成分組成に加えて、Sb：0.005～0.500%、Cu：0.01～1.50%、P：0.005～0.500%、Crを0.01～1.50%、Ni：0.005～1.500%、Sn：0.01～0.50%、Nb：0.0005～0.0100%、Mo：0.01～0.50%、B：0.0010～0.0070%及びBi：0.0005～0.0500%からなる群より選ばれる1種又は2種以上を含有させてもよい。Sb、Cu、P、Cr、Ni、Sn、Nb、Mo、B及びBiは、磁気特性の向上に有用な元素であり、二次再結晶粒の発達を阻害せずに、磁気特性向上効果を十分に得られる点から、含有させる場合は、上記の範囲内とすることが好ましい。

20

鋼素材の成分組成における上記した成分以外の残部は、Fe及び不可避免的不純物である。

## 【0041】

## &lt;製造工程&gt;

本発明の製造方法は、例えば鋼スラブを、熱間圧延して熱延板とする。鋼スラブは、加熱してから熱間圧延に供することができる。その際の加熱温度は、熱間圧延性を確保する観点から1050 程度以上とするのが好ましい。加熱温度の上限は特に限定されないが、1450 超の温度は、鋼の融点に近く、スラブの形状を保つのが困難であるため、1450 以下とすることが好ましい。

30

それ以外の熱間圧延条件は特に限定されず、公知の条件を適用することができる。

## 【0042】

得られた熱延板に、熱延板焼鈍を施す。本発明においては、最終冷延前焼鈍の冷却条件を後述のように制御する必要がある。

## 【0043】

ここで、「最終冷延」とは、前記1回又は2回以上の冷間圧延のうち最後に行われる冷間圧延を指すものとする。例えば、冷間圧延を1回のみ行う1回法の場合には、当該1回の冷間圧延が最終冷延である。冷間圧延を2回行う2回法の場合には、2回目の冷間圧延が最終冷延である。同様に、冷間圧延を3回以上行う場合は、最終回の冷間圧延が最終冷延である。

40

## 【0044】

また、「最終冷延前焼鈍」とは、前記の通り定義される「最終冷延」の直前に行われる焼鈍を指すものとする。例えば、冷間圧延を1回のみ行う1回法の場合には、当該1回の冷間圧延の前に行われる熱延板焼鈍が最終冷延前焼鈍である。また、冷間圧延を2回行う2回法の場合には、1回目の冷間圧延と2回目の冷間圧延との間に行われる中間焼鈍が最終冷延前焼鈍である。同様に、冷間圧延を3回以上行う場合は、最終回の直前回の冷間圧延と最終回の冷間圧延との間に行われる中間焼鈍が最終冷延前焼鈍である。

## 【0045】

熱延板焼鈍に関して、次の冷間圧延工程において、冷間圧延を1回のみ行う、冷延1回法の場合には、前記熱延板焼鈍が最終冷延前焼鈍にあたるため、熱延板焼鈍の冷却条件は

50

後述の条件で実施する必要がある。一方、中間焼鈍を挟んで冷間圧延を2回以上行う場合は、最後に行われた冷間圧延が最終冷延となり、当該最終冷延前の中間焼鈍が最終冷延前焼鈍にあたる。従って、その場合は、前記中間焼鈍の冷却条件を特定の条件で実施する必要があるが、熱延板焼鈍の条件は特に限定されず、公知の条件を適用することができる。

【0046】

なお、上記の冷間圧延を2回以上行う場合、熱延板には、必要に応じて熱延板焼鈍を施せばよい。必要に応じて熱延板焼鈍を施したのち、冷間圧延の前に、酸洗等で脱スケールしてもよい。

【0047】

最終冷延前焼鈍においては、800～350における平均冷却速度以外の条件は特に限定されず、公知の条件を適用することができる。例えば、970～1150の焼鈍温度まで加熱し、前記焼鈍温度に10～180秒の間保持して冷却する、条件などは本発明に好適である。

【0048】

最終冷延前焼鈍の冷却過程における800～350の温度域での平均冷却速度は20/秒以上とする。当該温度域での冷却速度を高めることにより、鋼中の固溶炭素を多量に存在させることができ、最終冷延の噛み込み前の加熱による微細なカーバイドの析出を促進することができる。平均冷却速度は、35/秒以上であることが好ましい。なお、平均冷却速度の上限は特に限定されないが、割れ防止の観点からは、300/秒以下とすることが好ましい。

【0049】

冷間圧延工程では1回の冷間圧延で最終板厚の冷延板としてもよく、あるいは中間焼鈍を挟んだ2回以上の冷間圧延を施して最終板厚の冷延板としてもよい。冷間圧延の総圧下率は、特に限定されず、70%以上95%以下とすることができる。最終冷延の圧下率は、特に限定されず、60%以上95%以下とすることができる。最終板厚は、特に限定されず、例えば0.1mm以上1.0mm以下とすることができる。

【0050】

ここで、最終冷延は、タンデム圧延機で行い、鋼板をペイオフリールから払い出して最終冷延の1パス目に導く際に、鋼板を70以上200以下まで加熱した後10秒以内に60以下に冷却してから1パス目に噛み込ませることが肝要である。

【0051】

最終冷延の鋼板加熱温度は70以上200以下とする。すなわち、加熱温度が70未満では、微細カーバイドが十分に析出せず、一方200超では炭素の拡散速度が大きくなりすぎて粗大なカーバイドが析出することにより歪時効による集合組織改善効果が失われ、磁性が劣化する。加熱温度は、好ましくは100以上170以下である。

【0052】

最終冷延直前に鋼板を加熱後に冷却して、1パス目に噛み込ませる鋼板温度を60以下とする。60以下でなければ{111}<112>マトリクス組織の作り込みが不十分になり、加熱による集合組織改善効果が失われる。従って、1パス目に噛み込ませる際の鋼板温度は60以下とする。なお、下限は特に限定されないが、0以下になると材料が脆化し、製造性に悪影響を及ぼすことから、1パス目に噛み込ませる際の鋼板温度は、0超とすることが好ましい。

【0053】

また、最終冷延前に鋼板を加熱してから60以下に冷却するまでの時間は10秒以内とする。10秒以内の開始点は、加熱装置の出側を出た時点とすることができる。10秒を超えると、析出したカーバイドが粗大化するため、集合組織改善効果が失われる。冷却するまでの時間の下限は特に限定されないが、冷却までの時間が短すぎる場合、微細カーバイドが十分析出するのが困難になる、おそれがあるため、2秒以上とすることが好ましい。

【0054】

10

20

30

40

50

最終冷延前の加熱方法は、特に限定されず、エアバス、オイルバス、サンドバス、誘導加熱等があげられるが、タンDEM圧延機の入側で加熱するため、短時間での加熱が可能な方法が望ましい。なお、加熱温度は、加熱装置の出側の鋼板温度とする。

【0055】

最終冷延前の加熱後の冷却方法は、特に限定されず、クーラント液吹き付け、冷却ロール、オイルバス等があげられるが、タンDEM圧延機の入側で冷却するため、短時間で冷却することが好ましい。

【0056】

上記の冷間圧延を実施するため、本発明に用いるタンDEM圧延機は、第1スタンドの入側に加熱装置及び当該加熱装置の出側に冷却装置を備えている必要がある。加熱装置としては、その加熱形式は特に問わないが、上記したエアバス、オイルバス、サンドバス、誘導加熱等の手法によるものが好ましい。同様に、冷却装置としては、その冷却形式は特に限定されないが、上記したクーラント液吹き付け、冷却ロール、オイルバス等の手法によるものが好ましい。

10

【0057】

冷間圧延中に時効処理等の熱処理又は温間圧延を挟んでもよいが、上記した特許文献4に記載の最終圧延を前半部と後半部の二つに分け、前半部では低温にて、後半部では高温にて圧延する方法が好適である。なぜなら、一次再結晶Goss方位粒は、圧延安定方位の一つである $\{111\} <112>$ マトリクス組織内に導入された、剪断帯から核生成すると考えられている。 $\{111\} <112>$ マトリクス組織は低温での冷間圧延により発達するため、前半部で低温にて圧延することにより $\{111\} <112>$ マトリクス組織を多く作り込み、次いで高温にて圧延することにより効率よくGoss方位再結晶核を作ることができる。

20

【0058】

本発明の方向性電磁鋼板の製造方法においては、上記に従って最終厚に仕上げた冷延板を、脱炭焼鈍したのち、二次再結晶焼鈍を経て、方向性電磁鋼板(製品板)を得ることができる。二次再結晶焼鈍後に、絶縁被膜を被成してもよい。

【0059】

上記脱炭焼鈍の条件は、特に限定されない。一般的に、脱炭焼鈍は一次再結晶焼鈍を兼ねることが多く、本発明の製造方法においても一次再結晶焼鈍を兼ねることができる。その場合、条件は特に限定されず、公知の条件を適用することができる。例えば、温水素雰囲気中で800 × 2分の焼鈍条件等が挙げられる。

30

【0060】

冷延板に脱炭焼鈍を施したのち、二次再結晶のための仕上焼鈍を施す。仕上焼鈍前に、鋼板表面に焼鈍分離剤を塗布することができる。焼鈍分離剤としては、特に限定されず、公知のものを用いることができる。例えば、MgOを主成分とし、必要に応じて、TiO<sub>2</sub>などを添加したものや、SiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を主成分としたものが挙げられる。

【0061】

仕上焼鈍を施したのち、鋼板表面に絶縁被膜を塗布し焼き付け、必要に応じて、平坦化焼鈍して鋼板形状を整えることが好ましい。絶縁被膜の種類は、特に限定されず、鋼板表面に引張張力を付与する絶縁被膜を形成する場合には、特開50-79442号公報、特開昭48-39338号公報、特開昭56-75579号公報等に記載されている、リン酸塩-コロイダルシリカを含有する塗布液を用いて、800程度で焼き付けるのが好ましい。

40

【実施例1】

【0062】

質量%で、C:0.037%、Si:3.4%及びMn:0.05%を含有し、さらに質量ppmで、S及びSe:それぞれ31ppm、N:50ppm、sol.Al:85ppmを含有し、残部がFe及び不可避免的不純物の組成からなる鋼スラブを、1210に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。

50

【 0 0 6 3 】

上記熱延板に、1000 × 60秒の熱延板焼鈍を施し、次いで800 から350 までを25 / sで冷却したのち、コイルに巻き取った。得られた熱延焼鈍板を、タンデム圧延機（ロール径300mm、スタンド数5）を用いて、1回のタンデム圧延にて0.20mmの板厚の冷延板とした。その際、圧延機のペイオフリールと1パス目の圧延スタンドの間に設置した鋼板加熱装置によって、鋼板を150 まで加熱した。加熱装置の出側を出た時点から5秒間で表3に示した温度まで冷却し、1パス目の圧延スタンドに噛み込ませた。なお、表3の条件No.39は150 に加熱後冷却せずに噛み込ませた条件である。

【 0 0 6 4 】

その後、上記冷延板に均熱温度840、均熱時間100秒とする脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍を施したのち、鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、次いで仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。上記二次再結晶焼鈍後の鋼板表面に、リン酸塩 - クロム酸塩 - コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する塗布液を塗布し、800 × 30秒の平坦化焼鈍を施し、製品コイルとした。

【 0 0 6 5 】

製品コイルについて、同じ条件で作製したコイル10個分の鉄損を測定し、平均値と標準偏差を求めた。鉄損の測定は、コイルの長手中央部から試料を総重量が500g以上となるように切り出し、エプスタイン試験を実施し、行った。この鉄損の測定結果を、上記した加熱温度及び1パス目の噛み込み温度に併せて表3に示す。

【 0 0 6 6 】

【表3】

表3

条件No.	加熱温度 (°C)	1パス目噛み込み温度 (°C)	鉄損 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	標準偏差	備考
31	150	25	0.82	0.03	発明例
32	150	40	0.85	0.04	発明例
33	150	50	0.85	0.01	発明例
34	150	60	0.88	0.02	発明例
35	150	70	0.98	0.05	比較例
36	150	80	0.97	0.04	比較例
37	150	90	0.98	0.03	比較例
38	150	100	1.02	0.03	比較例
39	150	150	1.20	0.04	比較例

【 0 0 6 7 】

表3より、加熱後1パス目に噛み込むときの鋼板温度を60 以下にした材料は低鉄損となっていることが分かる。

【実施例2】

【 0 0 6 8 】

質量%で、C：0.037%、Si：3.4%及びMn：0.05%を含有し、さらに質量ppmで、S及びSe：それぞれ31ppm、N：50ppm、sol.Al：85ppmを含有し、残部がFe及び不可避免的不純物の組成からなる鋼スラブを、1210 に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。

【 0 0 6 9 】

上記熱延板に、1000 × 60秒の熱延板焼鈍を施し、次いで800 から350 までを25 / sで冷却したのち、コイルに巻き取った。得られた熱延焼鈍板を、タンデム圧延機（ロール径300mm、スタンド数5）を用いて、1回のタンデム圧延にて0.20mmの板厚の冷延板とした。その際、圧延機のペイオフリールと1パス目の圧延スタンドの間に設置した鋼板加熱装置によって、鋼板を150 まで加熱した。加熱後は表4

に示した種々の時間内（冷却に要した時間。加熱装置の出側を出た時点を基準とする。）にて25 まで冷却し、1パス目の圧延スタンドに噛み込ませた。

【0070】

その後、上記冷延板に均熱温度840、均熱時間100秒とする脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍を施したのち、鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、次いで仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。上記二次再結晶焼鈍後の鋼板表面に、リン酸塩-クロム酸塩-コロイダルシリカを重量比3：1：2で含有する塗布液を塗布し、800×30秒の平坦化焼鈍を施し、製品コイルとした。

【0071】

製品コイルについて、同じ条件で作製したコイル10個分の鉄損を測定し、平均値と標準偏差を求めた。鉄損の測定は、コイルの長手中央部から試料を総重量が500g以上となるように切り出し、エプスタイン試験を実施して行った。この鉄損の測定結果を、上記した冷却に要した時間に併せて表4に示す。

10

【0072】

【表4】

表4

条件No.	加熱後 冷却に要した時間 (秒)	鉄損 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	標準偏差	備考
40	2	0.86	0.03	発明例
41	4	0.83	0.04	発明例
42	6	0.82	0.01	発明例
43	8	0.85	0.02	発明例
44	10	0.86	0.09	発明例
45	12	0.97	0.11	比較例
46	14	1.02	0.10	比較例

20

【0073】

表4より、加熱後10秒以内に冷却した材料は、鉄損のばらつきが小さく、低鉄損となっていることが分かる。

30

【実施例3】

【0074】

質量%で、C：0.06%、Si：3.4%及びMn：0.06%を含有し、質量ppmで、N：90ppm、sol.Al：250ppmを含有し、質量%で、S及びSe：それぞれ0.02%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物の組成からなる鋼スラブを1400に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。

【0075】

上記熱延板に、1000×60秒の熱延板焼鈍を施し、次いで800から350までを10/sで冷却したのち、コイルに巻き取った。得られた熱延板焼鈍板をタンデム圧延機（ロール径300mm、スタンド数5）で1回目の冷間圧延を行い、次いで、N<sub>2</sub>75vol%+H<sub>2</sub>25vol%、露点46の雰囲気中で1100×80秒の中間焼鈍を施し、800から350までの冷却過程では、表5に示す種々の冷却速度で冷却を行った。次に、タンデム圧延機（ロール径300mm、スタンド数5）で最終の冷間圧延（最終冷延）を施し、板厚が0.20mmの冷延板とした。最終冷延の際、圧延機のペイオフリールと1パス目の圧延スタンドの間に設置した鋼板加熱装置によって、鋼板を表5に示すように加熱し、加熱後は、加熱装置の出側を出た時点からの時間が表5に示す時間で、表5に示す温度まで冷却し、1パス目の圧延スタンドに噛み込ませた。

40

【0076】

その後、上記冷延板に、均熱温度を840、均熱時間を100秒とする脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍を施したのち、鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し

50

、次いで仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。上記二次再結晶焼鈍後の鋼板表面に、リン酸塩 - クロム酸塩 - コロイダルシリカを重量比 3 : 1 : 2 で含有する塗布液を塗布し、800 × 30 秒の平坦化焼鈍を施し、製品コイルとした。

【0077】

製品コイルについて、同じ条件で作製したコイル10個分の鉄損を測定し、平均値と標準偏差を求めた。鉄損の測定は、コイルの長手中央部から試料を総重量が500g以上となるように切り出し、エプスタイン試験を実施し、行った。この鉄損の測定結果を、上記した各種条件に併せて表5に示す。

【0078】

【表5】

表5

条件No.	中間焼鈍 平均冷却速度 (°C/秒)	加熱温度 (°C)	加熱後 冷却に要した時間 (秒)	1パス目噛み込み温度 (°C)	鉄損 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	標準偏差	備考
47	5	150	4	25	1.05	0.12	比較例
48	10	150	4	25	1.02	0.10	比較例
49	15	150	4	25	0.99	0.09	比較例
50	20	150	4	25	0.87	0.05	発明例
51	25	150	4	25	0.85	0.04	発明例
52	30	150	4	25	0.85	0.04	発明例
53	25	加熱なし	4	25	0.99	0.10	比較例
54	25	50	4	25	0.98	0.11	比較例
55	25	60	4	25	0.96	0.09	比較例
56	25	70	4	25	0.88	0.02	発明例
57	25	80	4	25	0.89	0.03	発明例
58	25	90	4	25	0.87	0.06	発明例
59	25	100	4	25	0.86	0.05	発明例
60	25	125	4	25	0.85	0.03	発明例
61	25	175	4	25	0.87	0.04	発明例
62	25	200	4	25	0.88	0.04	発明例
63	25	225	4	25	0.98	0.05	比較例
64	25	250	4	25	0.99	0.04	比較例
65	25	150	2	25	0.89	0.03	発明例
66	25	150	6	25	0.87	0.04	発明例
67	25	150	8	25	0.85	0.02	発明例
68	25	150	10	25	0.88	0.04	発明例
69	25	150	12	25	0.94	0.10	比較例
70	25	150	14	25	0.98	0.11	比較例
71	25	150	4	40	0.85	0.05	発明例
72	25	150	4	50	0.86	0.04	発明例
73	25	150	4	60	0.88	0.03	発明例
74	25	150	4	70	0.95	0.05	比較例
75	25	150	4	80	0.96	0.04	比較例
76	25	150	4	90	0.96	0.04	比較例
77	25	150	4	100	0.99	0.03	比較例
78	25	150	—	150	1.10	0.04	比較例

10

20

30

40

50

## 【0079】

表5に示したように、インヒビター多量添加系の鋼スラブを用いて、冷延工程に中間焼鈍を挟んだ場合においても、最終冷延にて所定の条件で圧延を行った場合、鉄損が良好で、ばらつきも小さいことがわかる。

## 【実施例4】

## 【0080】

質量%で、C：0.036%、Si：3.4%及びMn：0.06%を含有し、質量ppmで、N：50ppm、sol.Al：72ppm、S及びSe：それぞれ31ppmを含有し、その他の添加成分として、Sb、Cu、P、Cr、Ni、Sn、Nb、Mo、B、Biを、表6に示す組成で含有し、残部がFe及び不可避免的不純物の組成からなる鋼を溶製し、鋼スラブとし、1210 に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。

10

## 【0081】

上記熱延板に、1000 × 60秒の熱延板焼鈍を施し、次いで800 から350までを25 / sで冷却したのち、コイルに巻き取った。得られた熱延板焼鈍板をタンデム圧延機（ロール径300mm、スタンド数5）にて、1回のタンデム圧延にて0.20mmの板厚の冷延板とした。最終の冷間圧延の際、圧延機のペイオフリールと1パス目の圧延スタンドの間に設置した鋼板加熱装置によって、鋼板を150 に加熱し、加熱後は、加熱装置の出側を出た時点から5秒間で25 まで冷却し、1パス目の圧延スタンドに噛み込ませた。

20

## 【0082】

その後、上記冷延板に、均熱温度840 、均熱時間100秒とする脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍を施したのち、鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、次いで仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。上記二次再結晶焼鈍後の鋼板表面に、リン酸塩 - クロム酸塩 - コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する塗布液を塗布し、800 × 30秒の平坦化焼鈍を施し、製品コイルとした。製品コイルについて、同じ条件で作製したコイル10個分の鉄損を測定し、平均値と標準偏差を求めた。鉄損の測定は、コイルの長手中央部から試料を総重量が500g以上となるように切り出し、エプスタイン試験を実施し、行った。この鉄損の測定結果を、上記した添加成分の組成に併せて表6に示す。

30

## 【0083】

40

50

【表 6】

鋼種No.	その他の添加成分(質量%)											鉄損 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	標準偏差
	Sb	Cu	P	Cr	Ni	Sn	Nb	Mo	B	Bi			
A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	0.03
A2	0.01	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.76	0.03
A3	0.01	-	-	-	0.050	-	0.005	-	-	-	-	0.74	0.04
A4	0.14	-	-	-	-	-	-	0.22	0.004	-	-	0.77	0.03
A5	0.35	0.22	0.12	-	-	0.12	-	-	-	-	-	0.77	0.04
A6	-	0.05	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	0.77	0.02
A7	-	0.78	-	-	-	0.43	-	0.37	-	-	-	0.78	0.04
A8	-	1.31	-	0.27	0.420	-	-	-	-	-	-	0.76	0.02
A9	-	-	0.30	-	-	-	0.002	-	0.005	0.0020	-	0.77	0.04
A10	-	-	-	1.01	-	-	-	-	-	-	-	0.78	0.04
A11	0.42	-	-	1.31	0.890	-	-	-	-	-	-	0.78	0.03
A12	-	-	-	-	1.350	-	-	-	-	-	-	0.76	0.02
A13	-	-	0.42	-	0.007	-	-	0.11	-	0.0010	-	0.75	0.01
A14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007	-	0.79	0.04
A15	-	-	-	-	0.050	0.02	0.005	-	-	-	-	0.74	0.03
A16	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.002	0.0100	-	0.76	0.03
A17	-	0.05	0.05	-	0.050	-	-	-	-	-	-	0.77	0.02
A18	-	-	-	-	-	0.02	0.005	-	-	0.0100	-	0.75	0.03
A19	-	-	-	0.02	-	-	-	0.02	0.002	-	-	0.75	0.03
A20	-	0.05	-	-	-	0.02	-	-	-	0.0100	-	0.77	0.04
A21	-	-	-	0.02	-	0.02	-	0.02	-	-	-	0.78	0.01
A22	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.78	0.02
A23	-	-	-	-	0.050	-	-	-	-	-	-	0.79	0.04
A24	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	-	0.77	0.03

表6

【 0 0 8 4 】

表 6 に示したように、S b、C u、P、C r、N i、S n、N b、M o、B、B i のい  
 ずれか 1 種以上を添加した鋼板は、鉄損が 0 . 8 0 W / k g 以下に低減しており、かつコ  
 イル長手方向の特性のばらつきも小さかった。

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

J F E スチール株式会社内

審査官 鈴木 葉子

- (56)参考文献 特開 2 0 2 0 - 1 1 6 5 8 7 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 1 2 0 2 1 5 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 1 2 0 2 1 6 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 2 0 / 0 6 7 2 3 6 ( W O , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
C 2 1 D 8 / 1 2 , 9 / 4 6  
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0