

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5668767号  
(P5668767)

(45) 発行日 平成27年2月12日(2015.2.12)

(24) 登録日 平成26年12月26日(2014.12.26)

(51) Int. Cl.			F I		
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/00	3 0 3 U
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/60</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/60	
<b>C 2 1 D</b>	<b>8/12</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 1 D	8/12	A
<b>B 2 1 B</b>	<b>3/02</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 1 B	3/02	
<b>H O 1 F</b>	<b>1/16</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 F	1/16	A

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-33387 (P2013-33387)  
 (22) 出願日 平成25年2月22日(2013.2.22)  
 (65) 公開番号 特開2014-162939 (P2014-162939A)  
 (43) 公開日 平成26年9月8日(2014.9.8)  
 審査請求日 平成26年5月15日(2014.5.15)

早期審査対象出願

(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  
 (74) 代理人 100147485  
 弁理士 杉村 憲司  
 (74) 代理人 100165951  
 弁理士 吉田 憲悟  
 (72) 発明者 戸田 広朗  
 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 財前 善彰  
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、C : 0.005%以下、Si : 2.0%以上4.5%以下、Al : 0.2%以上2.0%以下、Mn : 0.1%以上2.0%以下、S : 0.003%以下、N : 0.003%以下、P : 0.015%以下、Mo : 0.02%以上0.03%以下、PbとBiを合計で0.0010%以下とし、さらにSnおよびSbのいずれか1種または2種を合計で0.005%以上0.2%以下含有し、残部Feおよび不可避的不純物の成分組成からなる熱延鋼板であって、該熱延鋼板を窒素雰囲気中、1000、30秒で焼鈍したのち、7% HCl 溶液に80 で60秒間浸漬した後の酸洗減量が、10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下である無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板。

【請求項2】

前記熱延鋼板が、質量%で、さらに、Ca : 0.001%以上0.005%以下、Mg : 0.0002%以上0.005%以下、Cr : 0.05%以上0.5%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有する請求項1に記載の無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板。

【請求項3】

質量%で、C : 0.005%以下、Si : 2.0%以上4.5%以下、Al : 0.2%以上2.0%以下、Mn : 0.1%以上2.0%以下、S : 0.003%以下、N : 0.003%以下、P : 0.015%以下、Mo : 0.02%以上0.03%以下、PbとBiを合計で0.0010%以下とし、さらにSnおよびSbのいずれか1種または2種を合計で0.005%以上0.2%以下含有し、残部Feおよび不可避的不純物の成分組成からなるスラブを、加熱後、熱間圧延を施して巻き取りを行なう一連の工程からなる無方向性電磁鋼板用の熱延鋼板の製造方法において、

上記スラブ加熱時の温度を1050 以上1150 以下、上記熱間圧延時の仕上げ熱延終了温度を820 以上920 以下とし、さらに上記熱間圧延時の熱延終了後の巻取温度を520 以上620 以下として、上記熱延鋼板を窒素雰囲気中、1000 、30秒で焼鈍したのち、7 %HCl溶液に80 で60秒間浸漬した後の酸洗減量を、10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下とする無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板の製造方法。

【請求項4】

前記スラブが、質量%で、さらに、Ca : 0.001%以上0.005%以下、Mg : 0.0002%以上0.005%以下、Cr : 0.05%以上0.5%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有する請求項3に記載の無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、主に電気機器の鉄心材料として用いられる無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板およびその製造方法であって、特に、鉄損や磁束密度等の磁気特性に優れるだけでなく、鋼板の表面欠陥が少なく製造歩留りに優れる無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板と、その製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、電力をはじめとするエネルギーの節減という世界的な動きの中で、電気機器についてもその高効率化が強く要望され、鉄心材料に使用される無方向性電磁鋼板についても一層の低鉄損化が望まれている。そのため、無方向性電磁鋼板の鉄損低減技術につき、様々な提案がなされている。

20

【0003】

無方向性電磁鋼板の鉄損低減手段としては、電気抵抗を増大させて渦電流損を低下させるために、SiやAl、Mn等の鋼中含有量を高める手法が一般に用いられている。しかし、現在のハイグレード品の鉄損を更に向上させるために、SiやAlなどの添加量を増すと、圧延などの製造性の問題ばかりではなく、材料のコスト高を招く不利も生じてしまう。

【0004】

ここで、特許文献1には、鋼中の不純物元素(S, N, O)量を低減することにより鉄損を低減する技術が、また特許文献2には、不純物混入を抑制し、スラブ加熱温度、巻き取り温度、熱延板焼鈍条件、冷間圧延圧下率および仕上げ焼鈍条件を規定することにより、介在物を制御して鉄損を低減する方法がそれぞれ開示されている。

30

【0005】

また、製造プロセスを変更し、製品板における結晶方位の集積度合い、すなわち集合組織を改善して磁気特性を向上させる方法がいくつか提案されている。例えば、特許文献3には、Si : 2.8 ~ 4.0mass%およびAl : 0.3 ~ 2.0mass%を含有する鋼に、200 ~ 500 の温度範囲で温間圧延を施し、{ 1 0 0 } < 0 V W > 組織を発達させる方法が、また、特許文献4には、Si : 1.5 ~ 4.0mass%およびAl : 0.1 ~ 2.0mass%を含有する鋼を熱間圧延したのち、1000 以上1200 以下の熱延板焼鈍と、圧下率 : 80 ~ 90%の冷間圧延を組み合わせることによって{ 1 0 0 } 集合組織を発達させる方法が、それぞれ開示されている。

40

【0006】

さらに、特許文献5や特許文献6、特許文献7においては、微量のSnやSbを含有させて鉄損低減を図る技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特公平2-50190号公報

【特許文献2】特許第2984185号公報

【特許文献3】特開昭58-181822号公報

【特許文献4】特開平3-294422号公報

50

【特許文献5】特公昭56-54370号公報

【特許文献6】特公昭58-3027号公報

【特許文献7】特許第4258164号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述した技術（特許文献1～7）によって、確かに鉄損を低減することが可能になるものの、特に近年、微量のSnやSbを添加した場合において、鋼板に表面欠陥が多く発生し、製造歩留りが極めて悪くなるという事態が多く発生するようになった。

【0009】

本発明は、上記した現状に鑑み開発されたもので、鉄損や磁束密度等の磁気特性に優れるだけでなく、鋼板の表面欠陥が少なく製造歩留りに優れる無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板を、その有利な製造方法と共に提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

発明者らは、上記した鋼板の表面欠陥・増大の原因を究明すべく、種々の検討を重ねた結果、原産地や鉱脈等の違いによって、SnやSb原料に含まれるPb、Biの不純物量の変動しており、PbとBiが合計で0.0010mass%を超えると、表面欠陥が多発していることを知見した。

【0011】

ここで、上記現象の理由を検討すると、本発明の成分は、Alを0.2mass%以上含有しているため、PbとBiの合計が0.0010mass%以下の場合、熱延板焼鈍時に生成するAl酸化物のバリア効果のためにSiO<sub>2</sub>スケールの生成が抑えられ、その後の酸洗により比較的均一にスケールが除去されるために、仕上げ焼鈍後の鋼板の表面外観が良好となる。一方、PbとBiの合計が0.0010mass%を超えた場合、熱延板焼鈍時に生成するAl酸化物のバリア効果が部分的に弱くなって、Siの酸化が進行しやすくなり、ミクロ的にみてSiO<sub>2</sub>スケール生成量のばらつきが大きくなるため、その後の酸洗によるスケール除去程度のばらつきが大きくなって仕上げ焼鈍後の鋼板表面にムラが生じ、外観が劣化すると考えられた。

【0012】

また、鋼中のPbとBiが、スラブ加熱や、熱間圧延、熱延板焼鈍、仕上げ焼鈍を行う時に溶解して、表面欠陥の増大につながっているととも考えられた。

【0013】

発明者らがさらに検討を進めた結果、PbとBiが合計で0.0010mass%以下の場合、Pを0.015mass%以下、Mo含有量を0.002mass%以上0.03mass%以下にすることで、従来より表面欠陥の生成を著しく抑制できることを新たに見出した。また、Pの含有量が増えると、熱延板焼鈍後にスケールを除去するために実施する酸洗時の酸洗量が増大し、鋼板の酸洗性は向上するものの、本発明の成分では、かえって、スケールの除去程度にムラが生じることを助長することがわかった。さらに、Pは不純物として、0.01mass%程度は不可避免的に混入するため、その影響を緩和するために、Moを上記範囲にすることが効果的であることを見出した。

本発明は、上記の知見に立脚するものである。

【0014】

すなわち、本発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 質量%で、C：0.005%以下、Si：2.0%以上4.5%以下、Al：0.2%以上2.0%以下、Mn：0.1%以上2.0%以下、S：0.003%以下、N：0.003%以下、P：0.015%以下、Mo：0.002%以上0.03%以下、PbとBiを合計で0.0010%以下とし、さらにSnおよびSbのいずれか1種または2種を合計で0.005%以上0.2%以下含有し、残部Feおよび不可避免的不純物の成分組成からなる熱延鋼板であって、該熱延鋼板を窒素雰囲気中、1000℃、30秒で焼鈍したのち、7% HCl溶液に80℃で60秒間浸漬した後の酸洗減量が、10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下である無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板。

10

20

30

40

50

## 【0015】

2. 前記熱延鋼板が、質量%で、さらに、Ca：0.001%以上0.005%以下、Mg：0.0002%以上0.005%以下、Cr：0.05%以上0.5%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有する前記1に記載の無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板。

## 【0016】

3. 質量%で、C：0.005%以下、Si：2.0%以上4.5%以下、Al：0.2%以上2.0%以下、Mn：0.1%以上2.0%以下、S：0.003%以下、N：0.003%以下、P：0.015%以下、Mo：0.002%以上0.03%以下、PbとBiを合計で0.0010%以下とし、さらにSnおよびSbのいずれか1種または2種を合計で0.005%以上0.2%以下含有し、残部Feおよび不可避免的不純物の成分組成からなるスラブを、加熱後、熱間圧延を施して巻き取りを行なう一連の工程からなる無方向性電磁鋼板用の熱延鋼板の製造方法において、

上記スラブ加熱時の温度を1050 以上1150 以下、上記熱間圧延時の仕上げ熱延終了温度を820 以上920 以下とし、さらに上記熱間圧延時の熱延終了後の巻取温度を520 以上620 以下として、上記熱延鋼板を窒素雰囲気中、1000 、30秒で焼鈍したのち、7% HCl溶液に80 で60秒間浸漬した後の酸洗減量を、10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下とする無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板の製造方法。

10

## 【0017】

4. 前記スラブが、質量%で、さらに、Ca：0.001%以上0.005%以下、Mg：0.0002%以上0.005%以下、Cr：0.05%以上0.5%以下のうちから選んだ1種または2種以上を含有する前記3に記載の無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板の製造方法。

20

## 【発明の効果】

## 【0018】

本発明によれば、低鉄損で鋼板の表面欠陥が少ない無方向性電磁鋼板製造用の熱延鋼板を、その有利な製造方法と共に提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0019】

【図1】鉄損 $W_{15/50}$ と熱延板試料のPb量との関係および表面外観への影響を調査した結果を示す図である。

【図2】熱延板試料のPb量と酸洗減量との関係を示す図である。

30

【図3】供試材のP、Mo添加量における、それぞれの鉄損 $W_{15/50}$ 、酸洗減量および表面外観を調査した結果を示す図である。

【図4】スラブ加熱温度と、鉄損 $W_{15/50}$ と、表面外観に及ぼす仕上げ熱延終了温度および熱延終了後巻取温度の影響を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0020】

以下、本発明を具体的に説明する。なお、以下に示す鋼板成分を表す%表示は、特に断らない限りmass%を意味する。

はじめに、本発明を導くに至った実験結果について説明する。

まず、鉄損および表面外観に及ぼすPbの影響について調査するため、C：0.0023%、Si：2.5%、Al：0.3%、Mn：0.2%、S：0.0021%、N：0.0015%、Sn：0.05%およびP：0.03%を含む組成をA系列とし、また、C：0.0021%、Si：2.5%、Al：0.3%、Mn：0.2%、S：0.0017%、N：0.0020%、Sn：0.05%、P：0.01%およびMo：0.005%を含む組成をB系列として、それぞれにPbを0～0.01%の範囲で含有させた鋼を実験室にて溶解し、1100 で加熱した後、2.2mm厚に熱間圧延を行った。引続き、この熱延鋼板に100%N<sub>2</sub>雰囲気中、1000 、30秒の熱延板焼鈍を施した。ついで、7% HCl、80 の条件で1分間酸洗した後、板厚：0.50mm厚に冷間圧延して、20% H<sub>2</sub>-80% N<sub>2</sub>雰囲気中、1000 、10秒の条件を用い仕上げ焼鈍を行った。その際、酸洗前の熱延板試料を、別途採取しておいた。

40

## 【0021】

得られた鋼板から、圧延方向（L方向）および圧延方向と直角な方向（C方向）にエブ

50

スタイン試験片を切り出して、磁気特性を測定した。なお、磁気特性はL + C特性で評価した。また、表面外観の調査も併せて行った。鉄損 $W_{15/50}$ および表面欠陥の調査結果を図1に示す。

表面欠陥の発生状況は、鋼板の単位面積当りに存在する線状欠陥の長さで評価し、 $0.001(m/m^2)$ 未満を欠陥無(図中、数字1で示す)、 $0.001(m/m^2)$ 以上 $0.01(m/m^2)$ 以下を欠陥少し有(図中、数字2で示す)とし、 $0.01(m/m^2)$ 超を欠陥多とした(図中、数字3で示す)。

同図より、組成A, B系列の両者とも、Pbが0.0010%を超えると表面外観が大きく劣化し、鉄損も劣化傾向を示すことがわかる。ただし、Pbが0.0010%以下の場合、組成A系列よりも組成B系列の鋼の方が、鉄損、表面外観とも良好な傾向であった。

#### 【0022】

上記試験結果をさらに検討するため、別途採取しておいた酸洗前・熱延板試料を用いて、7% HCl、80℃、60秒の条件の鋼板の酸洗減量を調べた。その結果を図2に示す。Pbが0.0010%を超えると酸洗減量が増大することがわかる。また、Pbが0.0010%以下の場合、組成A系列よりも組成B系列の方が酸洗減量は少ないことがわかる。

#### 【0023】

また、Snの代わりにSbを添加した場合についても、Biを0~0.01%の範囲で変化させた同様の実験を行い、Biが0.0010%を超えると表面欠陥と鉄損が劣化傾向を示し、かつ、熱延板の酸洗減量が増大するという同様の結果を得た。

#### 【0024】

次に、PbとBiの合計が0.0010%以下の場合に、PおよびMoの最適添加量について調査を行った。

すなわち、C:0.0030%、Si:3.5%、Al:1.0%、Mn:0.5%、S:0.0012%、N:0.017%、Sn:0.03%、Pb:0.0002%を含み、さらに、Pを0.005~0.05%、Moを0~0.1%の範囲で変化させた鋼を、実験室にて溶解し、1100℃で加熱した後、1.8mm厚に熱間圧延を行った。引続いて、この熱延鋼板に100% N<sub>2</sub>雰囲気中で1000℃、30秒の熱延板焼鈍を施し、さらに、80℃、7% HClの溶液に、60秒間浸漬する条件下で酸洗した後、板厚:0.35mm厚に冷間圧延して、20% H<sub>2</sub>-80% N<sub>2</sub>雰囲気中で1025℃、10秒の条件を用い仕上げ焼鈍を行った。なお、酸洗前後の熱延板焼鈍後の試料を別途採取して、酸洗減量を調査した。

#### 【0025】

得られた鋼板から、圧延方向および圧延方向と直角な方向にエプスタイン試験片を切り出して、磁気特性を測定した。なお、磁気特性はL + C特性で評価した。また、表面欠陥発生状況の調査も併せて行った。鉄損、表面欠陥発生状況、及び7% HClの溶液に80℃で60秒間浸漬した条件下での熱延板の酸洗減量に及ぼすP, Mo添加量の影響を図3に示す。表面欠陥の発生状況は、鋼板の単位面積当りに存在する線状欠陥の長さで評価し、 $0.001(m/m^2)$ 未満を欠陥無(○)、 $0.001(m/m^2)$ 以上を欠陥有(×)とした。

#### 【0026】

図3から、P:0.015%以下、かつMo:0.002~0.03%の範囲において表面外観が向上し、かつ、鉄損も改善していることがわかる。また、上記P, Mo添加量範囲での熱延板焼鈍後の試料における、7% HClの溶液に80℃で60秒間浸漬した条件下での酸洗減量は、 $10g/m^2$ 以上 $35g/m^2$ 以下の範囲であった。

#### 【0027】

さらに、良好な磁気特性と表面外観が得られる熱延鋼板の製造条件の検討を行った。

C:0.0012%、Si:3.0%、Al:0.5%、Mn:0.5%、S:0.0008%、N:0.003%、Sn:0.08%、Pb:0.0003%、P:0.01%およびMo:0.01%の成分組成からなる鋼スラブを用い、スラブ加熱温度、仕上げ熱延終了温度と熱延終了後の巻取温度を変化させて2.0mm厚まで熱延した。次に、窒素雰囲気中で1000℃、30秒の条件を用いて熱延板焼鈍を施し、7% HClの溶液に80℃で60秒間浸漬する条件下で酸洗した後、板厚:0.35mm厚に冷間圧延した。その後、20% H<sub>2</sub>-80% N<sub>2</sub>雰囲気、1010℃、10秒の条件で仕上げ焼鈍を行った。

#### 【0028】

得られた鋼板から、圧延方向および圧延方向と直角な方向にエプスタイン試験片を切り

10

20

30

40

50

出して、磁気特性を測定した。なお、磁気特性はL + C特性で評価した。また、表面欠陥発生状況の調査も併せて行った。表面欠陥の発生状況は、鋼板の単位面積当りに存在する線状欠陥の長さで評価し、 $0.001(\text{m}/\text{m}^2)$ 未満を欠陥無( )、 $0.001(\text{m}/\text{m}^2)$ 以上を欠陥有(x)とした。

鉄損 $W_{15/50}$ および表面欠陥発生状況に及ぼすスラブ加熱温度、仕上げ熱延終了温度と熱延終了後の巻取温度の影響を図4に示す。

【0029】

同図より、スラブ加熱温度が1050 以上1150 以下、仕上げ熱延終了温度が820 以上920 以下の範囲であって、熱延終了後の巻取温度が520 以上620 以下の範囲の場合に、鉄損低減効果と良好な表面外観が同時に得られていることがわかる。また、上記適正範囲条件での熱延板焼鈍後の試料において、7% HClの溶液に80 で60秒間浸漬した条件下での酸洗減量は、 $10\text{g}/\text{m}^2$ 以上 $35\text{g}/\text{m}^2$ 以下の範囲であった。

10

【0030】

ここで、スラブ加熱温度、仕上げ熱延終了温度および熱延終了後の巻取温度を上記範囲に制御した時、鋼板表面の欠陥が少なくなる理由は、必ずしも明らかにはなっていないものの、Pb含有量が0.0010%以下の場合に、Sn, PとMoを添加した際に、上記温度範囲を満足することによって、熱延鋼板に生成する酸化スケールの形態・性状が、その後の工程でのスケール除去に対して有利になるからと考えられる。

【0031】

以下、上述したようにして定めた本発明の成分組成範囲の限定理由について説明する。  
C : 0.005% 以下

20

Cは、鋼板の磁気時効劣化を抑制するために、極力少ないほうが好ましいが、0.005%までは許容できる。好ましくは0.0035%以下である。

【0032】

Si : 2.0% 以上4.5% 以下

本発明の電磁鋼板において、Siは、電気抵抗を増大させ、鉄損を改善する有用元素である。この鉄損改善の効果を得るためには、2.0%以上のSi含有量が必要である。一方、4.5%を超えると鋼板の加工性が劣化し、かつ磁束密度の低下も顕著になるので、Si含有量は2.0~4.5%の範囲に限定する。

【0033】

30

Al : 0.2% 以上2.0% 以下

Alは、Siと同様、鋼の脱酸剤として一般的に用いられており、電気抵抗を増加して鉄損を低減する効果が大きいいため、通常、無方向性電磁鋼板の主要構成元素の一つである。また、AlN系の析出物量(微細な析出物)を低減するのに有効であり、そのためには0.2%以上の添加が必要である。しかし、含有量が多すぎると、連続鋳造においてモールドとの潤滑性が低下し、鋳造が困難になるので、2.0%以下で含有させるものとする。

【0034】

Mn : 0.1% 以上2.0% 以下

Mnは、Siと同様に電気抵抗を高めて鉄損を低減する効果があるだけでなく、熱間圧延性を改善するのに有効な元素である。しかし、含有量が0.1%に満たないとその添加効果に乏しく、一方、2.0%を超えると飽和磁束密度の低下が顕著になるため、上記範囲に限定する。

40

【0035】

S : 0.003% 以下

Sは、不可避免的に混入してくる不純物であり、その含有量が多くなると硫化物系介在物が多量に形成されて鉄損が増加する原因となる。よって、本発明では0.003%以下とする。一方、下限値は特に制限はなく、生産性等の観点から0.0002%程度である。

【0036】

N : 0.003% 以下

NもSと同様、不可避免的に混入してくる不純物であり、その含有量が多いと窒化物が多

50

量に形成されて鉄損が増加する原因となる。よって、本発明では0.003%以下とする。一方、下限値は特に制限はなく、生産性等の観点から0.0005%程度である。

【0037】

P：0.015%以下

Pは、鋼板の強度向上や集合組織改善のために、意図的に添加して用いられることが多い元素である。しかしながら、本発明においては、鋼板の表面外観改善のために、極力低減する必要があるため、0.015%以下とする。一方、下限値は特に制限はなく、生産性等の観点から0.002%程度である。

【0038】

Mo：0.002%以上0.03%以下

本発明において、Moは、不純物として不可避免的に混入する0.01%程度のPが表面外観に及ぼす悪影響を緩和するために、必須の元素である。含有量が0.002%未満では十分な添加効果が得られず、一方、0.03%を超えて添加すると、逆に磁気特性に悪影響を及ぼす傾向がみられるので、上記範囲に限定する。好ましくは、0.003%以上0.02%以下である。

【0039】

Sn, Sb：0.005%以上0.2%以下

Sn, Sbはいずれも、無方向性電磁鋼板の集合組織を改善し磁気特性を高める効果を有するが、その効果を得るには、Sb, Snを単独添加または複合添加のいずれの場合においても、それぞれ0.005%以上の添加量とする。一方、過剰に添加すると鋼が脆化し、鋼板製造中の板破断や、ヘゲなどの疵が増加するため、Sn, Sbは単独添加または複合添加いずれの場合もそれぞれ0.2%以下とする。

【0040】

Pb, Bi：合計で0.0010%以下

両者単独、または複合のいずれの場合においても、0.0010%を超えると、鋼板の表面外観が大きく劣化し、磁性も劣化するため、上記範囲に限定する。一方、下限値は特に制限はなく、生産性等の観点から合計で0.00001% (0.1massppm)程度である。

【0041】

本発明では、上記の基本成分以外に、無方向性電磁鋼板の磁気特性向上や表面性状の改善のため、以下に述べる元素を適宜含有させることができる。

Ca：0.001%以上0.005%以下

Caは、CaSとして析出し、微細な硫化物の析出を抑制しながら鉄損を改善するのに有効な成分である。しかし、0.001%未満ではその添加効果は充分でなく、一方、0.005%を超えると、Ca酸化物の介在物が増え、かえって鉄損が劣化するため、添加する際には、上記範囲とすることが好ましい。

【0042】

Mg：0.0002%以上0.005%以下

Mgは、0.0002%以上添加すると、Mg酸化物を形成し、この酸化物にS, N等の不純物元素が複合析出して有害な硫化物や窒化物の生成が抑制され、鉄損が低下する。このため下限を0.0002%にすることが好ましい。

一方、0.005%を超えて添加することは、生産性の観点から困難であり、いたずらにコストアップを招くため、上限を0.005%程度とすることが好ましい。

【0043】

Cr：0.05%以上0.5%以下

Crは、熱延鋼板および熱延板焼鈍時に生成する表層スケールの改質による鉄損と表面外観の改善に有効な成分であり、0.05%以上の添加でその効果が明確になるが、0.5%を超えるとその効果は飽和するので、添加する際には、0.05%以上0.5%以下の範囲に限定することが好ましい。

【0044】

なお、上記成分以外の残部は、製造工程において混入する不可避免的不純物、およびFeである。

10

20

30

40

50

## 【0045】

次に、本発明に従う熱延鋼板の製造方法における諸条件の限定理由等について述べる。

本発明の熱延鋼板を用いて無方向性電磁鋼板を製造する場合は、後述する熱延鋼板の製造条件を除き、一般の無方向性電磁鋼板に適用されている工程および設備を用いて実施することができる。

例えば、転炉あるいは電気炉などにより所定の成分組成に溶製された鋼を、脱ガス設備で二次精錬し、連続鋳造または造塊後の分塊圧延により鋼スラブとしたのち、熱間圧延を施して、本発明に従う熱延鋼板とする。

ついで、熱延板焼鈍、酸洗、冷間または温間圧延、仕上げ焼鈍および絶縁被膜を塗布して焼き付けといった工程を施すことで無方向性電磁鋼板が得られるのである。また、直接鋳造法を用いて、100mm以下の厚さの薄鋳片から直接製造してもよい。

10

## 【0046】

本発明では、特に、鋼板の表面欠陥を少なく、かつ製造歩留りを良好に保つために、熱延鋼板の製造条件を以下に述べるように制御することが必要である。

すなわち、スラブ加熱温度を1050 以上1150 以下とし、さらに熱間圧延を、仕上げ熱延終了温度が820 以上920 以下の範囲で、かつ熱延終了後の巻取温度が520 以上620 以下の範囲になるように行うものとする。

なお、スラブ加熱温度の好ましい範囲は1050 以上1125 以下、仕上げ熱延終了温度の好ましい範囲は、850 以上900 以下で、また熱延終了後の巻取温度の好ましい範囲は、550 以上600 以下である。

20

## 【0047】

熱間圧延工程を、これらの条件で行うことにより、前記したMo等の素材成分の効力とあいまって、熱延板焼鈍後における鋼板表層部に生成するスケールの除去程度が最適となる。本発明では、このスケール除去程度を特定するために、代表的な熱延板焼鈍条件や酸洗条件を考慮して、窒素雰囲気中、1000 、30秒で焼鈍を行ったのち、7 %HClの溶液に80 で60秒間浸漬した後の酸洗減量を用いた。本発明では、この酸洗減量が10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下の範囲になるという、特に最適なスケール除去程度を発現することができる。

## 【0048】

なお、本発明は、良好な磁気特性と表面外観が得られることを、上記の酸洗減量を用いて熱延鋼板の性質を特定するべく、焼鈍条件を1000 、30秒と限定し、焼鈍後の酸洗条件を7 %HClの溶液に80 で60秒間浸漬すると限定したが、実際に実施される熱延板焼鈍条件(通常950 以上1100 以下)や酸洗等のスケール除去条件は、要求される製品特性やスケールの発生状況等に応じて、任意に設定することができ、上記条件に縛られるものではない。

30

## 【実施例】

## 【0049】

## 〔実施例1〕

転炉で吹練して得た溶鋼を、脱ガス処理した後に鋳造して、表1に示す成分の鋼スラブを製造した。その後、表2に示すスラブ加熱温度、仕上げ熱延終了温度と熱延終了後の巻取温度条件で、2.0mm厚まで熱間圧延を行って熱延鋼板を得た。次いで、100%N<sub>2</sub>雰囲気中、1000 、30秒の熱延板焼鈍を施し、7 %HClの溶液に80 で60秒間浸漬する酸洗処理を行った後、表2に示す板厚まで冷間圧延を行った。その後、20%H<sub>2</sub>-80%N<sub>2</sub>雰囲気中、1035 、10秒の条件を用い仕上げ焼鈍を行った後、コーティング処理を行った。

40

得られた無方向性電磁鋼板から、圧延方向および圧延直角方向にエプスタイン試験片をそれぞれ切り出し、磁気特性(鉄損:  $W_{15/50}$ 、磁束密度:  $B_{50}$ )を測定した。磁気特性はL+C特性で評価するとともに、表面外観の調査も行った。得られた結果を表2に併記する。なお、表面欠陥の発生状況は、鋼板の単位面積当りに存在する線状欠陥の長さで評価し、0.001(m/m<sup>2</sup>)未満を欠陥無( )、0.001(m/m<sup>2</sup>)以上を欠陥有(x)とした。

## 【0050】



【 附 1 】

表 1

鋼記号	C (%)	Si (%)	Al (%)	Mn (%)	S (%)	N (%)	P (%)	Mo (%)	Sb (%)	Sn (%)	Pb (%)	Bi (%)	Ca (%)	Mg (%)	備考
A	0.0025	2.84	0.29	0.21	0.0019	0.0021	0.020	0.001	-	0.038	0.0001	-	-	-	比較鋼
B	0.0032	2.78	0.31	0.17	0.0023	0.0017	0.014	0.003	-	0.041	0.0001	-	-	-	適合鋼
C	0.0021	2.85	0.87	0.19	0.0012	0.0025	0.028	0.003	0.045	-	-	0.0002	-	-	比較鋼
D	0.0015	2.82	0.93	0.23	0.0008	0.0010	0.006	0.005	0.041	-	-	0.0002	-	-	適合鋼
E	0.0012	2.15	0.27	0.20	0.0012	0.0013	0.010	0.020	-	0.060	-	0.0012	-	-	比較鋼
F	0.0014	2.18	0.25	0.15	0.0030	0.0010	0.009	0.020	-	0.050	-	0.0009	0.0027	-	適合鋼
G	0.0024	3.67	0.75	0.54	0.0020	0.0020	0.015	0.050	-	0.028	0.0003	0.0001	-	-	比較鋼
H	0.0018	3.72	0.68	0.49	0.0018	0.0030	0.012	0.005	-	0.035	0.0003	0.0001	-	0.0035	適合鋼

表中の%はmass%、残部はFe及び不可避免不純物

【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

【 例 2 】

表2

No.	鋼記号	スラブ 加熱温度 (°C)	仕上熱延 終了温度 (°C)	巻取温度 (°C)	熱延板焼鈍後 の酸洗減量 (g/m <sup>2</sup> )	冷延板厚 (mm)	W <sub>15/50</sub> (W/kg)	B <sub>50</sub> (T)	表面外観	備考
1	A	1140	920	620	41	0.50	2.73	1.70	×	比較例
2	B	1140	920	620	30	0.50	2.59	1.71	○	発明例
3	C	1060	820	520	47	0.50	2.59	1.69	×	比較例
4	D	1060	820	520	13	0.50	2.45	1.70	○	発明例
5	E	1080	850	550	63	0.50	3.23	1.72	×	比較例
6	F	1080	850	550	32	0.50	3.05	1.73	○	発明例
7	G	1100	870	570	43	0.50	2.31	1.66	×	比較例
8	H	1100	870	570	26	0.50	2.19	1.67	○	発明例
9	B	1030	800	500	45	0.35	2.33	1.69	×	比較例
10	B	1110	890	600	27	0.35	2.21	1.70	○	発明例
11	D	1180	950	650	40	0.35	2.23	1.68	×	比較例
12	D	1120	890	600	17	0.35	2.12	1.69	○	発明例
13	F	1150	930	630	42	0.35	2.59	1.71	×	比較例
14	F	1150	910	600	29	0.35	2.45	1.72	○	発明例
15	H	1050	810	510	40	0.35	2.08	1.65	×	比較例
16	H	1050	830	530	21	0.35	1.95	1.66	○	発明例

【 0 0 5 2 】

表2に示したように、1000、30秒の熱延板焼鈍後の7% HClの溶液に、80で60秒間浸漬した後の酸洗減量値を見ると、発明例ではいずれも10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下の範囲であった。

10

20

30

40

50

また、本発明に従う熱延鋼板の製造条件により得られた発明例は、いずれも、磁気特性、表面外観共に良好な結果を得ていることがわかる。

【0053】

〔実施例2〕

転炉で吹練して得た溶鋼を、脱ガス処理した後に鑄造して、表3に示す成分の鋼スラブを製造した。その後、表4に示すスラブ加熱温度、仕上げ熱延終了温度と熱延終了後の巻取温度条件で、1.6mm厚まで熱間圧延を行った。次いで、100%N<sub>2</sub>雰囲気中で1000℃、30秒の熱延板焼鈍を施し、7% HCl、80℃×60秒浸漬という条件の酸洗処理を行った後、表4に示す板厚まで冷間圧延を行った。その後、20% H<sub>2</sub>-80% N<sub>2</sub>雰囲気中で1000℃、10秒の条件を用い仕上げ焼鈍を施し、コーティング処理を行った。

得られた無方向性電磁鋼板から、圧延方向および圧延直角方向にエプスタイン試験片をそれぞれ切り出し、磁気特性（鉄損： $W_{10/400}$ 、磁束密度： $B_{50}$ ）を測定した。磁気特性はL+C特性で評価するとともに、表面外観の調査も行った。得られた結果を表4に併記する。なお、表面欠陥の発生状況は、鋼板の単位面積当りに存在する線状欠陥の長さで評価し、0.001(m/m<sup>2</sup>)未満を欠陥無(○)、0.001(m/m<sup>2</sup>)以上を欠陥有(×)とした。

【0054】

【 表 3 】

表3

鋼記号	C (%)	Si (%)	Al (%)	Mn (%)	S (%)	N (%)	P (%)	Mo (%)	Sb (%)	Sn (%)	Pb (%)	Bi (%)	Ca (%)	Cr (%)	備考
I	0.0020	2.92	1.15	0.51	0.0025	0.0018	0.033	0.005	0.021	0.033	0.0002	0.0003	-	-	比較鋼
J	0.0010	2.87	1.22	0.50	0.0017	0.0020	0.011	0.005	0.023	0.035	0.0002	0.0003	-	-	適合鋼
K	0.0016	3.35	0.63	1.62	0.0021	0.0027	0.035	0.006	-	0.050	0.0006	-	0.0025	-	比較鋼
L	0.0035	3.32	0.58	1.60	0.0015	0.0014	0.005	0.004	-	0.052	0.0006	-	-	0.08	適合鋼
M	0.0045	4.02	0.25	0.12	0.0005	0.0007	0.009	0.015	-	0.012	0.00005	-	-	-	適合鋼
N	0.0023	3.35	1.51	0.25	0.0012	0.0009	0.015	0.025	-	0.120	0.0007	-	0.0045	-	適合鋼

表中の%はmass%、残部はFe及びび不可避不純物

【 0 0 5 5 】

10

20

30

40

【 表 4 】

No.	鋼記号	スラブ 加熱温度 (°C)	仕上熱延 終了温度 (°C)	巻取温度 (°C)	熱延板焼鈍後の 酸洗減量 (g/m <sup>2</sup> )	冷延板厚 (mm)	W <sub>10/400</sub> (W/kg)	B <sub>50</sub> (T)	表面外観	備考
21	I	1100	870	590	55	0.30	14.9	1.68	×	比較例
22	J	1100	870	590	22	0.30	13.9	1.69	○	発明例
23	K	1120	890	570	67	0.30	13.9	1.66	×	比較例
24	L	1120	890	570	29	0.30	13.0	1.67	○	発明例
25	J	1170	900	600	39	0.25	12.8	1.67	×	比較例
26	J	1140	840	590	27	0.25	12.2	1.68	○	発明例
27	L	1030	830	530	38	0.25	11.9	1.66	×	比較例
28	L	1060	880	550	25	0.25	11.3	1.67	○	発明例
29	M	1100	870	590	11	0.25	11.7	1.68	○	発明例
30	N	1100	870	540	30	0.25	11.0	1.67	○	発明例
31	J	1120	850	570	23	0.20	10.6	1.67	○	発明例
32	N	1080	890	590	30	0.20	9.7	1.66	○	発明例

表4

【 0 0 5 6 】

表 4 に示したように、1000 、30秒の熱延板焼鈍後の7% HClの溶液に、80 で60秒間浸漬した後の酸洗減量値を見ると、発明例ではいずれも10g/m<sup>2</sup>以上35g/m<sup>2</sup>以下の範囲であった。

10

20

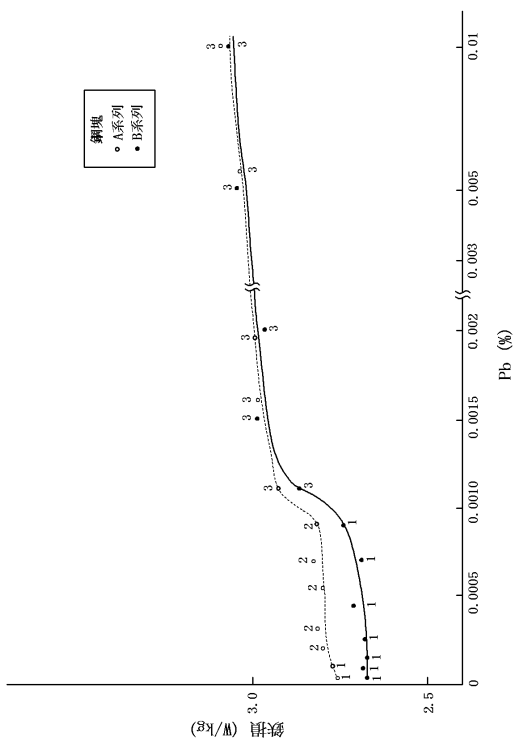
30

40

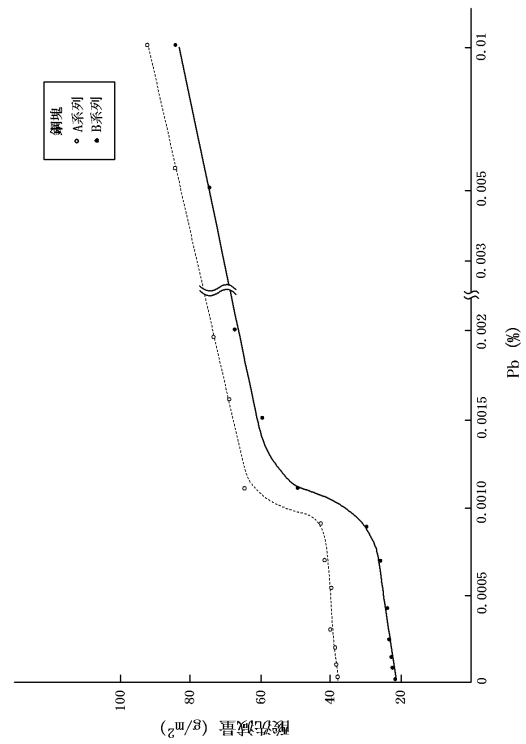
50

また、本発明に従う熱延鋼板の製造条件により得られた発明例は、いずれも、磁気特性、表面外観共に良好な結果を得ていることがわかる。

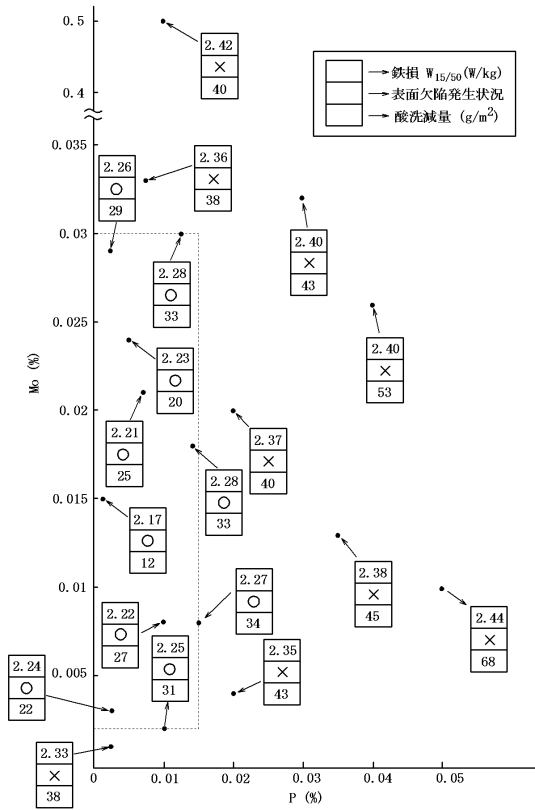
【図 1】



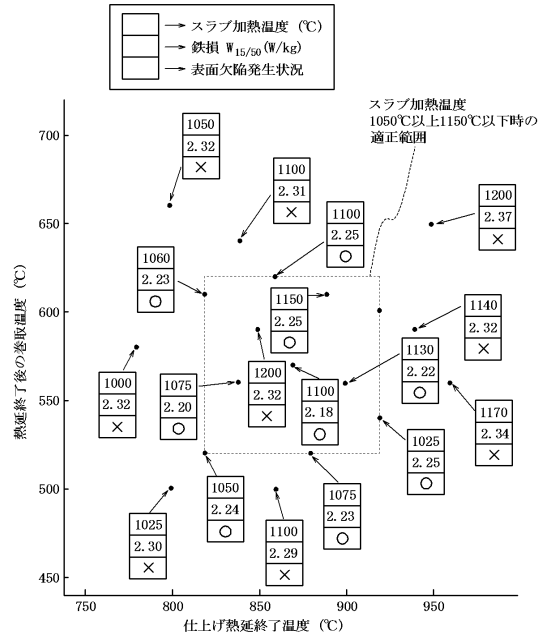
【図 2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 中西 匡  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内
- (72)発明者 尾田 善彦  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

審査官 佐藤 陽一

- (56)参考文献 特開2012-149337(JP,A)  
特開2002-294417(JP,A)  
特表2007-516345(JP,A)  
特公平07-062174(JP,B2)  
特公平07-062175(JP,B2)  
特開2013-091837(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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