

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5644154号  
(P5644154)

(45) 発行日 平成26年12月24日(2014.12.24)

(24) 登録日 平成26年11月14日(2014.11.14)

(51) Int.Cl.		F I
C 2 1 D 8/12	(2006.01)	C 2 1 D 8/12 B
C 2 1 D 9/46	(2006.01)	C 2 1 D 9/46 5 O 1 A
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 3 U
C 2 2 C 38/06	(2006.01)	C 2 2 C 38/06
C 2 2 C 38/60	(2006.01)	C 2 2 C 38/60

請求項の数 3 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-74879 (P2010-74879)  
 (22) 出願日 平成22年3月29日(2010.3.29)  
 (65) 公開番号 特開2011-208188 (P2011-208188A)  
 (43) 公開日 平成23年10月20日(2011.10.20)  
 審査請求日 平成25年2月21日(2013.2.21)

(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 100080687  
 弁理士 小川 順三  
 (74) 代理人 100077126  
 弁理士 中村 盛夫  
 (74) 代理人 100107227  
 弁理士 藤谷 史朗  
 (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 早川 康之  
 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】 方向性電磁鋼板の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0 . 1 2 m a s s % 以下、S i : 2 . 0 ~ 4 . 5 m a s s %、M n : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 3 m a s s %、A l : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 1 2 m a s s %、N : 0 . 0 0 3 0 ~ 0 . 0 1 0 m a s s % を含有し、残部が F e および不可避の不純物からなる成分組成を有する鋼スラブをインヒビター固溶温度以上に加熱した後、熱間圧延し、中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延で最終板厚の冷延板とし、その後、仕上焼鈍として1回以上の連続焼鈍を施す方向性電磁鋼板の製造方法において、上記中間焼鈍を750~950の温度とし、最終冷間圧延を30~80%の圧下率として行った後、均熱温度1020以下、均熱時間3分以下の連続焼鈍で二次再結晶させることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

10

【請求項2】

熱間圧延後、950以下の温度で熱延板焼鈍を施すことを特徴とする請求項1に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項3】

上記鋼スラブは、上記成分組成に加えてさらに、S b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 m a s s %、S n : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 2 m a s s %、C u : 0 . 0 1 ~ 0 . 2 m a s s %、S : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 2 m a s s %、S e : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 2 m a s s % および B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 m a s s % のうちから選ばれる1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1または2に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

20

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、主として変圧器や発電機、回転機の鉄心等に用いられる方向性電磁鋼板の製造方法に関し、詳しくは、連続焼鈍を用いた仕上焼鈍で二次再結晶させる方向性電磁鋼板の製造方法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

方向性電磁鋼板は、結晶方位が(110) < 001 > 方位(以下、「Goss方位」とも称する)に強く集積し、磁化容易軸が圧延方向に強く配向しているため、圧延方向へ励磁する際のエネルギーロスが非常に小さいという優れた特長がある。しかし、上記方向性電磁鋼板を製造するには、Goss方位を持つ結晶粒を優先的に成長させる必要があるため、極めて高温長時間の仕上焼鈍が必要である。具体的には、仕上焼鈍には、コイルフォームでのバッチ焼鈍法を用いるのが一般的であるが、通常、900~1200の温度域で数十時間の加熱が必要とされているため、膨大なエネルギーと時間を要するコストの高い処理となっている。したがって、この仕上焼鈍を、短時間で焼鈍が可能な連続焼鈍に置き換えることができれば、優れた磁気特性を有する方向性電磁鋼板を安価にかつ大量に提供することが可能となる。

10

## 【0003】

斯かる技術としては、例えば、特許文献1には、インヒビターとしてMn(Se, S)を用い、インヒビターを完全固溶させない温度でスラブ加熱を行い、さらに二次再結晶焼鈍前にスキンパス圧延を行うことで、連続焼鈍法で二次再結晶を発現させる技術が提案されている。また、特許文献2には、インヒビターとしてAlN+Mn(Se, S)を用い、熱延板焼鈍温度と冷間圧延温度を制御することにより、連続焼鈍法で二次再結晶を発現させる技術が提案されている。また、特許文献3には、インヒビター成分を極力排除し、冷延2回法を利用することで、連続焼鈍法で平均粒径が0.15~2.0mmの微細Goss組織を発現させる技術が提案されている。また、特許文献4には、インヒビターとして金属間化合物を利用し、連続焼鈍法で二次再結晶を起こさせることで、通常の方向性電磁鋼板と同等以上の磁気特性を備えた電磁鋼板を製造する方法が提案されている。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

30

## 【0004】

【特許文献1】特開平05-070833号公報

【特許文献2】特開平10-226819号公報

【特許文献3】特開2000-160305号公報

【特許文献4】特開2007-031793号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

ところで、連続焼鈍法を用いて工業的に方向性電磁鋼板の生産するためには、仕上焼鈍での焼鈍温度を約1020以下とし、かつ均熱時間を長くとも2~3分程度として、二次再結晶を完了させることが望ましい。というのは、焼鈍温度が1020を超えると鋼板上に形成されるSi酸化物などがハースロールの表面に付着・堆積し、鋼板に押し疵(デンツ)を発生させるため、ロール交換を頻繁に行う必要があり、生産性や歩留りが大きく低下する。また、均熱時間が2~3分より長くなると、低速焼鈍せざるを得ず、やはり生産性の低下や焼鈍コストの増大を招くことになるからである。

40

## 【0006】

発明者らは、上記観点から、特許文献1~4で提案された技術について検討を行った。

その結果、特許文献1の技術は、一次再結晶組織が残留しやすく、連続焼鈍法で二次再結晶させるには、安定性の点で難があることが明らかとなった。これは、比較的ピン止め力の弱いMn(Se, S)をインヒビターとして用いていることと、未固溶のインヒビタ

50

成分が多く、分散が不均一であることに原因があると推定された。さらに、スキンパス圧延を利用すると、そのまま二次再結晶させる場合に比べて配向性が大きく低下しやすいという問題がある。また、特許文献2の技術は、二次再結晶を完了させるために、高温もしくは長時間の仕上焼鈍が必要であり、例えば、1000 で二次再結晶を完了させるためには6～10分間の均熱時間が必要とされているため実用的な技術ではない。

【0007】

また、特許文献3の技術は、Goss方位粒発達の安定性・再現性に難がある。というのは、この技術は、鋼中のインヒビター成分を極力低減して粒成長を促進させた上で、集合組織によるインヒビション効果でGoss方位粒を選択成長させることに特徴がある。しかし、インヒビター成分を排除しているため、Goss方位の選択性が集合組織変動の影響を受けやすくなり、その結果、安定してGoss方位を発達させることが難しくなるためと考えられる。つまり、Goss組織を安定して成長させるためには、ある程度のインヒビターの存在が必要であると考えられる。また、特許文献4の技術は、高価な合金元素を多量に添加する必要があるため、原料コストが高くなるという問題がある。

10

以上説明したように、上記従来技術はいずれも、製造コストや生産性、二次再結晶の安定性の点で工業的に実用可能な技術とは言い難いものでしかなかった。

【0008】

そこで、本発明の目的は、連続焼鈍法を用いた比較的低温・短時間の仕上焼鈍で、安定的に二次再結晶を起こさせることができる方向性電磁鋼板の有利な製造方法を提案することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

発明者らは、上記課題の解決に向けて鋭意検討を重ねた。その結果、適正な微量インヒビターを含有する熱延鋼板を、熱延板焼鈍を施すことなくあるいは低温で熱延板焼鈍を施した後、低温中間焼鈍を挟む2回以上でかつ最終冷延圧下率を適正範囲に制御した冷間圧延により最終板厚の冷延板とし、その後、低温・短時間の仕上焼鈍を施すことにより、二次再結晶を安定して起こさせることができ、ひいては、Goss方位に高度に集積した方向性電磁鋼板を安価かつ大量に製造し得ることを見出し、本発明を完成させた。

【0010】

すなわち、本発明は、C：0.12mass%以下、Si：2.0～4.5mass%、Mn：0.005～0.3mass%、Al：0.005～0.012mass%、N：0.0030～0.010mass%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有する鋼スラブをインヒビター固溶温度以上に加熱した後、熱間圧延し、中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延で最終板厚の冷延板とし、その後、仕上焼鈍として1回以上の連続焼鈍を施す方向性電磁鋼板の製造方法において、上記中間焼鈍を750～950の温度とし、最終冷間圧延を30～80%の圧下率として行った後、均熱温度1020以下、均熱時間3分以下の連続焼鈍で二次再結晶させることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法である。

30

【0011】

本発明の方向性電磁鋼板の製造方法は、熱間圧延後、950以下の温度で熱延板焼鈍を施すことを特徴とする。

40

【0012】

また、本発明の方向性電磁鋼板の製造方法における上記鋼スラブは、上記成分組成に加えてさらに、Sb：0.005～0.2mass%、Sn：0.005～0.2mass%、Cu：0.01～0.2mass%、S：0.001～0.02mass%、Se：0.001～0.02mass%およびB：0.0001～0.005mass%のうちから選ばれる1種または2種以上を含有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、低温・短時間の連続焼鈍を用いた仕上焼鈍でも、二次再結晶を安定し

50

て発現させることができるので、磁気特性に優れる方向性電磁鋼板を、低コストで大量に提供することが可能となる。したがって、本発明は、省エネルギーや温暖化の防止にも貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】鋼成分と最終冷延圧下率が仕上焼鈍後の $B_{50}$ に及ぼす影響を示すグラフである。

【図2】中間焼鈍温度が仕上焼鈍後の $B_{50}$ に及ぼす影響を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

先ず、本発明を開発する契機となった実験について説明する。

表1に示した成分組成からなるA～Dの鋼を実験室的に溶製し、鋼素材とし、1200に加熱後、熱間圧延し、板厚2.7mmの熱延板とし、その後、上記熱延板を2分割し、そのうちの一方については、熱延板焼鈍を施すことなく、また、残りの一方については、乾燥室素中で1000 x 60 secの熱延板焼鈍を施した後、冷間圧延して最終板厚0.35mmの冷延板とした。なお、上記冷間圧延は、1回の冷間圧延で最終板厚まで圧延する条件（中間焼鈍なし）と、1回目の冷間圧延で中間厚0.4～2.0mmまで圧延し、800 x 60 secの中間焼鈍を施した後、2回目の冷間圧延（最終冷間圧延）で最終板厚とする条件で行った。その後、上記最終冷延後の冷延板に、1000 x 2 minの連続焼鈍（仕上焼鈍）を施し、製品板とした。

【0016】

【表1】

鋼 記号	化学成分 (mass%)				
	C	Si	Mn	Al	N
A	0.002	3.28	0.05	0.0089	0.0051
B	0.002	3.31	0.06	0.0072	0.0038
C	0.003	3.27	0.05	0.0041	0.0025
D	0.003	3.31	0.05	0.0005	0.0018

【0017】

斯くして得られた仕上焼鈍後の鋼板からエプスタイン試験片を採取し、5000 A/mで磁化したときの圧延方向の磁束密度 $B_{50}$ を測定した。次いで、上記焼鈍後の鋼板をマクロエッチングし、鋼板のマクロ組織を肉眼で観察したところ、 $B_{50}$ が1.90 Tを超える鋼板では、平均結晶粒径が2mm以上の二次再結晶粒で覆われており、二次再結晶が完了していることが確認できた。

【0018】

図1に、上記各試験片の $B_{50}$ と最終冷延圧下率との関係を示した。図1から、インヒビター成分であるAlを0.005 mass%以上、Nを0.003 mass%以上含有する熱延板を、熱延板焼鈍を施さず、かつ、中間焼鈍後の最終冷延圧下率を30～80%の範囲として冷間圧延した場合には、圧延方向の磁束密度 $B_{50}$ を著しく高めることができることがわかる。

【0019】

次に、上記実験で高い磁束密度を示した表1の鋼Bの素材を1200に加熱後、熱間圧延し、板厚2.7mmの熱延板とし、その後、1回目の冷間圧延で中間厚0.85mmの冷延板とし、次いで、焼鈍温度を700～1000に変化させ、保持時間を60 secとした中間焼鈍を施した後、最終冷間圧延して、最終板厚0.35mmの冷延板とし、その後、この冷延板に、1000 x 2 minの連続焼鈍（仕上焼鈍）を施し、製品板とした。

10

20

30

40

50

## 【0020】

斯くして得られた仕上焼鈍後の鋼板からエプスタイン試験片を採取し、上記実験と同様に、圧延方向の磁束密度  $B_{50}$  を測定した。図2に、各試験片の  $B_{50}$  と中間焼鈍温度との関係を示した。この結果から、中間焼鈍温度を  $750 \sim 950$  の範囲とした場合に、圧延方向の磁束密度  $B_{50}$  を著しく高めることができることがわかる。

## 【0021】

以上の実験結果から、インヒビター成分としてAlを  $0.005 \text{ mass \%}$  以上、Nを  $0.003 \text{ mass \%}$  以上含有する熱延鋼板を、熱延板焼鈍を施すことなく、 $750 \sim 950$  の温度範囲の中間焼鈍を挟む2回以上でかつ最終冷延圧下率を  $30 \sim 80 \%$  の範囲とする冷間圧延することで、短時間の連続焼鈍でも容易に二次再結晶を発現させることができることが明らかとなった。

10

## 【0022】

上記の条件を満たした場合に二次再結晶が容易となる理由については次のように推定される。

まず、連続焼鈍法で二次再結晶させる場合には、バッチ焼鈍法に比べて焼鈍温度が高くなるため、AlNが固溶してピン止め力(インヒビター効果)が低下するのを防ぐためには、最低限のAlとNが必要と考えられ、 $0.005 \text{ mass \%}$  以上のAl、N： $0.003 \text{ mass \%}$  以上のNがその下限値であると考えられる。

また、短時間の連続焼鈍(仕上焼鈍)で安定して二次再結晶を起こさせるためには、熱間圧延中もしくは中間焼鈍で微細析出したAlNをできるだけ粗大化させずにおくことが必要であると考えられる。したがって、熱延板焼鈍しないこと、および中間焼鈍温度を  $950$  以下とすることは、AlNの粗大化を防止する効果があると考えられる。

20

## 【0023】

また、熱延で形成されるバンド組織は、Goss方位粒に蚕食され難く、冷延板まで残留すると、仕上焼鈍での二次再結晶粒の発達を阻害するため、その前に完全に破壊しておく必要があるが、中間焼鈍を  $750$  以上の温度で行うことは、圧延加工組織の再結晶を促進すること以外に、上記バンド組織を破壊する効果があると考えられる。ここで、バンド組織の破壊を、熱延板焼鈍で行わずに中間焼鈍で行う理由は、熱延板は、冷延板に比べて転位が少なく再結晶が起こり難いため、低温の熱延板焼鈍ではバンド組織を十分に破壊することができないためである。また、低温での中間焼鈍は、AlNの粗大化を防止し、連続焼鈍法で二次再結晶を発現させる上でも好ましいことである。

30

## 【0024】

また、最終冷延圧下率を  $30 \sim 80 \%$  の範囲とすることは、一次再結晶集合組織にGoss方位粒を増やす効果があると考えられる。Goss方位粒は、二次再結晶粒発生までに必要な時間が短くなるため、Goss方位粒が多いほど短時間で完全な二次再結晶組織を得ることが可能となる。

## 【0025】

すなわち、適切な量のAlNを鋼板中に極微細に分散析出させ、低温の中間焼鈍で熱延バンド組織を破壊し、冷延圧下率を適正に制御して一次再結晶集合組織のGoss方位粒を増やしてやるのが、低温・短時間の連続焼鈍で安定して二次再結晶を発現させる上で重要である。本発明は、上記知見に基き、さらに検討を加えて開発したものである。

40

## 【0026】

次に、本発明の方向性電磁鋼板の鋼素材(スラブ)の成分組成について説明する。

C： $0.12 \text{ mass \%}$  以下

Cは、熱間圧延時の / 変態によって結晶組織を均一化する効果がある。また、冷間圧延時の変形帯の形成を促進し、一次再結晶組織中のGoss方位粒を増やすことで、二次再結晶を安定して起こさせる効果がある。しかし、製品鋼板中のCが  $0.005 \text{ mass \%}$  を超えると、磁気時効を起こして磁気特性が経時劣化する。そのため、鋼素材にCが  $0.005 \text{ mass \%}$  を超えて含まれる場合には、中間焼鈍や仕上焼鈍で脱炭除去することが望ましい。なお、脱炭処理は、コスト増加の原因となるため、Cの添加は必須ではな

50

い。一方、Cの含有量が0.12mass%を超えると、上記脱炭処理で0.005mass%以下に低減することが困難となる。よって、Cの含有量は0.12mass%以下とするが、好ましくは0.06mass%以下の範囲である。なお、Cは、脱炭焼鈍を行う場合は0.005mass%超えでもよいが、行わない場合は0.005mass%以下とするのが好ましい。

【0027】

Si: 2.0 ~ 4.5 mass%

Siは、鋼の比抵抗を高めて鉄損を改善する効果があり、この効果を得るためには2.0mass%以上の添加が必要である。一方、4.5mass%を超えて添加すると、冷間圧延することが困難となる。よって、Siの含有量は2.0 ~ 4.5mass%の範囲とする。好ましくは2.8 ~ 3.8mass%の範囲である。

10

【0028】

Mn: 0.005 ~ 0.3 mass%

Mnは、Sによる熱間圧延時の割れを防止する効果がある。また、微細なS化合物、Se化合物を形成して一次再結晶組織の成長を阻害して、二次再結晶を促進する効果(インヒビター効果)もある。しかし、Mn含有量が0.005mass%以下では上記効果は小さく、一方、0.3mass%を超えて添加しても上記効果が飽和するだけである。よって、Mnの含有量は0.005 ~ 0.3mass%の範囲とする。好ましくは0.02 ~ 0.1mass%の範囲である。

20

【0029】

Al: 0.005 ~ 0.012 mass%

Alは、Nと微細なAlNを形成し、一次再結晶組織の成長を阻害するインヒビター効果のある本発明における重要な元素である。しかし、Alが0.005mass%未満では十分なインヒビター効果が得られない。一方、Alが0.012mass%を超えると、AlNの微細分散が困難となるので、Alは0.005 ~ 0.012mass%の範囲とする。好ましくは0.006 ~ 0.09mass%の範囲である。

【0030】

N: 0.0030 ~ 0.010 mass%

Nは、Alと微細なAlNを形成し、一次再結晶組織の成長を阻害するインヒビター効果のある本発明における重要な元素である。しかし、Nが0.0030mass%未満では十分なインヒビター効果が得られない。一方、Nが0.012mass%を超えると、ブリストーとよばれる表面欠陥が発生するようになる。よって、Nは0.0030 ~ 0.012mass%の範囲とする。好ましくは0.0035 ~ 0.0060mass%の範囲である。

30

【0031】

本発明の方向性電磁鋼板に用いる鋼素材は、上記成分の他に、以下の元素を含有していてもよい。

Sb: 0.005 ~ 0.2 mass%、Sn: 0.005 ~ 0.2 mass%

SbおよびSnは、一次再結晶集合組織を改善し、二次再結晶を安定化する効果がある。また、焼鈍中の酸化を防止して、磁気特性の劣化を防ぐ効果もある。このような効果を得るためには、それぞれ0.005mass%以上添加するのが好ましい。しかし、0.2mass%を超えて添加すると、鋼板が脆化するようになる。よって、SbおよびSnを添加する場合は、それぞれ0.005 ~ 0.2mass%の範囲とする。より好ましくは0.01 ~ 0.1mass%の範囲である。

40

【0032】

Cu: 0.01 ~ 0.2 mass%、S: 0.001 ~ 0.02 mass%、Se: 0.001 ~ 0.02 mass%、B: 0.0001 ~ 0.005 mass%

Cu, S, SeおよびBは、いずれも微細な析出物を形成して一次再結晶組織の成長を阻害するインヒビター効果のある元素であり、補助的なインヒビター元素として添加することができる。しかし、Cu: 0.01mass%未満、S: 0.001mass%未満

50

、Se：0.001%未満およびB：0.0001mass%未満では、十分なインヒビター効果が得られず、一方、Cu：0.2mass%超え、S：0.02mass%超え、Se：0.02mass%超えおよびB：0.005mass%超えでは、析出物の微細分散が困難となる。よって、Cu、S、SeおよびBは、それぞれ上記範囲で添加するのが好ましい。より好ましい範囲は、それぞれCu：0.02～0.1mass%、S：0.002～0.01mass%、Se：0.002～0.01mass%およびB：0.0002～0.002mass%の範囲である。

#### 【0033】

次に、本発明の方向性電磁鋼板の製造方法について説明する。

本発明に適合する上記成分組成に調整した鋼を溶製し、連続鋳造法または造塊 - 分塊圧延法を用いて所定厚みの鋼素材（スラブ）とした後、このスラブを再加熱し、熱間圧延して熱延板とする。上記熱間圧延前のスラブ加熱は、インヒビターの固溶温度以上で行うのが好ましいが、生産性や製造コストの観点から、1250以下で行うのが好ましい。なお、スラブ加熱温度は、低温ほど熱延板のバンド組織の発達を抑制されるため、二次再結晶を安定化させる観点からも、低温度で行うのが好ましい。また、熱間圧延条件は、通常公知の条件であればよく、特に制限はない。

#### 【0034】

熱間圧延した鋼板は、一般的な方向性電磁鋼板の製造方法では、熱延板焼鈍を施すことが多い。しかし、インヒビターの粗大化を防止する観点からは好ましくないため、本発明においては、熱延板焼鈍は必須の工程ではない。したがって、熱延板焼鈍を行う場合には、インヒビターを粗大化させないため、950以下の温度で行う必要がある。好ましい熱延板焼鈍温度は880以下である。なお、950以下の熱延板焼鈍では、バンド組織を完全には破壊できないため、後述する中間焼鈍は必須の工程である。

#### 【0035】

上記熱間圧延後、あるいは、熱延板焼鈍後の熱延板は、その後、中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延を行って所定の最終板厚の冷延板とし、連続焼鈍炉で仕上焼鈍し、必要に応じて絶縁コーティングを施して製品板とする。

#### 【0036】

ここで、上記中間焼鈍の温度は750～950、最終冷間圧延の圧下率（最終冷延圧下率）は30～80%の範囲とすることが必要である。中間焼鈍温度が750未満では、熱間圧延したときのバンド組織が残留しやすく、二次再結晶が不安定化となる。一方、中間焼鈍温度が950を超えると、AlNが粗大化し、十分なピン止め力（インヒビター効果）が得られない。また、最終冷延圧下率が30～80%から外れると、一次再結晶集合組織中にGoss方位粒が少なくなり、二次再結晶が不安定化する。好ましい中間焼鈍温度は780～880、最終冷延圧下率は50～70%の範囲である。

なお、2回以上の中間焼鈍を行う場合、すなわち、3回以上の冷間圧延を行う場合には、磁気特性を向上させる観点から、最終冷間圧延に限らず全ての冷延圧下率を30～80%とするのが好ましく、50～70%とするのがより好ましい。

#### 【0037】

冷間圧延に続く連続焼鈍法を用いた仕上焼鈍は、製造性やエネルギーコスト等の観点から、均熱温度1020以下、均熱時間3分以下の条件で行うことが好ましい。前述したように、1020を超える均熱温度は、連続焼鈍炉への通板性が悪化したり、押し疵発生の原因となったり、焼鈍炉の負荷が大きくなったりし、また、3分以上の均熱時間は、生産性を低下させたり、製造コストの上昇を招いたりするからである。

なお、鋼素材のCが0.005mass%超えである場合には、湿潤H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>雰囲気中で850程度の温度で脱炭焼鈍を施してから、上記仕上焼鈍して二次再結晶させるのが好ましい。

#### 【0038】

なお、上記仕上焼鈍は、複数回行ってよい。また、連続焼鈍で二次再結晶させた後、さらに焼鈍を行ってもよく、例えば、二次再結晶焼鈍後に浸珪処理を行い、Si含有量を

10

20

30

40

50

6.5mass%程度まで増加させることは、鉄損や騒音の低減に効果的である。また、二次再結晶焼鈍と浸珪処理を同時に行ってもよい。

【0039】

上記に説明したように、本発明の製造方法は、低温・短時間の仕上焼鈍でも安定して二次再結晶を起こさせることができるので、磁気特性（磁束密度 $B_{50}$ ）に優れる方向性電磁鋼板を、安価にかつ大量に提供することができることに特長がある。なお、本発明により得られる鋼板の二次再結晶組織は、従来のコイルフォームでバッチ焼鈍して得られる一般的な方向性電磁鋼板に比較して配向性の面で劣る傾向にある。しかし、Goss方位の圧延方向への配向性が高度に高まると、逆に圧延直角方向に励磁し難くなるため、ある程度の配向性の優劣は、回転機やEIコアの性能に及ぼす影響は小さいと考えられる。

10

【実施例1】

【0040】

表2に示した成分組成を有するA~Nの鋼を溶製し、連続鋳造して鋼素材（スラブ）とした後、このスラブを1200に加熱後、熱間圧延して板厚2.7mmの熱延板とした。次いで、1回目の冷間圧延で板厚0.85mmの冷延板とし、乾燥窒素雰囲気中で810×50秒の中間焼鈍を施した後、最終冷間圧延で最終板厚0.35mmの冷延板とした。その後、上記冷延板を、連続焼鈍炉を用いて、 $H_2$ ：30vol%+ $N_2$ ：70vol%、露点：30の雰囲気中で850×60秒の脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍した後、連続焼鈍炉を用いて、 $H_2$ ：20vol%+ $N_2$ ：80vol%の乾燥雰囲気中で995×120秒の仕上焼鈍を施し、製品板とした。

20

【0041】

斯くして得られた製品板から、エプスタイン試験片を採取し、圧延方向の磁束密度 $B_{50}$ を測定した。また、上記試験片をマクロエッチングし、肉眼で二次再結晶粒が確認できたものについては、その平均結晶粒径を測定した。

上記の結果を表2に併記して示した。この結果から、A1およびNを本発明の範囲で含有する鋼から製造された製品板は、粗大な二次再結晶粒が発現しており、優れた磁束密度 $B_{50}$ が得られていることがわかる。

【0042】



## 【 表 2 】

鋼 記号	化学成分 (mass%)						鋼板特性		備考
	C	Si	Mn	Al	N	其他成分	B <sub>50</sub> (T)	平均粒径 (mm)	
A	0.023	3.31	0.05	0.003	0.004	—	1.740	2次再結晶せず	比較例
B	0.008	3.25	0.06	0.008	0.005	—	1.942	5.2	発明例
C	0.015	3.21	0.05	0.012	0.004	—	1.946	8.3	発明例
D	0.031	3.24	0.05	0.021	0.004	—	1.732	2次再結晶せず	比較例
E	0.008	3.15	0.11	0.009	0.001	—	1.721	2次再結晶せず	比較例
F	0.002	3.36	0.05	0.008	0.005	—	1.938	4.2	発明例
G	0.052	2.78	0.06	0.007	0.003	—	1.932	11.5	発明例
H	0.032	3.72	0.12	0.006	0.004	—	1.922	6.2	発明例
I	0.008	3.24	0.06	0.009	0.005	Sb : 0.07	1.941	4.2	発明例
J	0.011	3.29	0.05	0.008	0.004	Sn : 0.04	1.928	2.9	発明例
K	0.002	3.10	0.09	0.007	0.004	S : 0.004	1.932	3.5	発明例
L	0.003	3.16	0.04	0.008	0.004	Se : 0.003	1.926	5.6	発明例
M	0.001	3.39	0.08	0.009	0.006	Cu : 0.02, Se : 0.004	1.934	10.1	発明例
N	0.024	3.01	0.04	0.006	0.003	B : 0.0005	1.929	9.6	発明例

## 【 実施例 2 】

## 【 0043 】

C : 0.002 mass%、Si : 3.39 mass%、Mn : 0.07 mass%、Al : 0.0079 mass%、N : 0.0041 mass%、S : 0.0018 mass%、Cu : 0.02 mass%、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スラブを 1200 に加熱後、熱間圧延して板厚 2.6 mm の熱延板とした後、表 3 に示した温度で、乾燥窒素雰囲気中で均熱時間 60 秒の熱延板焼鈍を施した後、あるいは熱延板焼鈍を施さずに、1 回目の冷間圧延で中間厚とし、その後、同じく表 3 に示した温度で、乾燥窒素雰囲気中で均熱時間 60 秒の中間焼鈍を施した後、あるいは中間焼鈍を施さずに、2 回目の冷間圧延（最終冷間圧延）して最終板厚 0.35 mm の冷延板とした。その後、この冷延板を、連続焼鈍炉を用いて、H<sub>2</sub> : 20 vol% + N<sub>2</sub> : 80 vol%

10

20

30

40

50

の乾燥雰囲気中で1005 × 110秒の仕上焼鈍を施し、製品板とした。

【0044】

斯くして得られた製品板から、エプスタイン試験片を採取し、圧延方向の磁束密度 $B_{50}$ を測定した。また、上記試験片をマクロエッチングし、肉眼で二次再結晶粒が確認できたものについては、その平均結晶粒径を測定した。

上記の結果を製造条件と共に表3に示した。この結果から、熱延板焼鈍温度、中間焼鈍温度および最終冷延圧下率が本発明の条件を満たして製造された鋼板は、いずれも粗大な二次再結晶粒が発現しており、優れた $B_{50}$ が得られていることがわかる。

【0045】

【表3】

No.	製造条件				鋼板特性		備考
	熱延板焼鈍温度(°C)	中間板厚(mm)	中間焼鈍温度(°C)	最終冷延圧下率(%)	$B_{50}$ (T)	平均結晶粒径(mm)	
1	1020	なし	なし	87	1.721	2次再結晶せず	比較例
2	890	なし	なし	87	1.715	2次再結晶せず	比較例
3	990	0.85	810	59	1.734	2次再結晶せず	比較例
4	なし	0.84	805	58	1.942	14.2	発明例
5	なし	0.84	895	58	1.938	6.2	発明例
6	なし	0.85	1020	59	1.731	2次再結晶せず	比較例
7	なし	1.21	810	71	1.918	8.3	発明例
8	なし	2.10	800	83	1.724	2次再結晶せず	比較例
9	830	0.86	795	59	1.923	6.7	発明例

【実施例3】

【0046】

C: 0.012 mass%、Si: 3.18 mass%、Mn: 0.11 mass%、Al: 0.0085 mass%、N: 0.0043 mass%、Sb: 0.02 mass%、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スラブを1210に加熱後、熱間圧延して板厚2.4mmの熱延板とし、乾燥窒素雰囲気中で所定の温度で均熱時間60秒の熱延板焼鈍を施し、あるいは熱延板焼鈍を施さずに、1回目の冷間圧延して所定の中間板厚とし、その後、乾燥窒素雰囲気中で所定の温度で均熱時間60秒の1回目の中間焼鈍し、あるいは中間焼鈍せずに、2回目の冷間圧延して所定の中間板厚とし、その

10

20

30

40

50

後さらに、乾燥室素雰囲気中で所定の温度で均熱時間60秒の2回目の中間焼鈍を施し、あるいは中間焼鈍せずに、所定の圧下率で3回目の冷間圧延（最終冷間圧延）して最終板厚0.1mmの冷延板とした。その後、この冷延板を、連続焼鈍炉を用いて、 $H_2 : 30 \text{ vol} \% + N_2 : 70 \text{ vol} \%$ 、露点：30 の雰囲気中で850 × 60秒の脱炭焼鈍を兼ねた一次再結晶焼鈍した後、連続焼鈍炉を用いて、 $H_2 : 20 \text{ vol} \% + N_2 : 80 \text{ vol} \%$ の乾燥雰囲気中で998 × 130秒の仕上焼鈍を施し、製品板とした。

【0047】

斯くして得られた製品板から、エプスタイン試験片を採取し、圧延方向の磁束密度 $B_{50}$ を測定した。また、上記試験片をマクロエッチングし、肉眼で二次再結晶粒が確認できたものについては、その平均結晶粒径を測定した。

上記の結果を、製造条件と共に表4に示した。この結果から、熱延板焼鈍温度、中間焼鈍温度および最終冷延圧下率が本発明の条件を満たして製造された鋼板は、いずれも粗大な二次再結晶粒が発現しており、優れた $B_{50}$ が得られていることがわかる。

【0048】

## 【 表 4 】

No.	製 造 条 件						鋼 板 特 性		備 考
	熱延板 焼鈍温度 (°C)	1回目の 冷延板厚 (mm)	1回目の 中間焼鈍温度 (°C)	2回目の 冷延板厚 (mm)	2回目の 中間焼鈍温度 (°C)	最終冷延 圧下率 (%)	B <sub>50</sub> (T)	平均結晶粒径 (mm)	
1	1020	なし	なし	なし	なし	96	1.702	2次再結晶せず	比較例
2	なし	0.75	810	なし	なし	87	1.715	2次再結晶せず	比較例
3	なし	0.92	815	0.31	795	68	1.932	3.5	発明例
4	830	1.40	820	0.23	860	57	1.921	5.9	発明例
5	なし	0.23	798	なし	なし	57	1.905	2.2	発明例

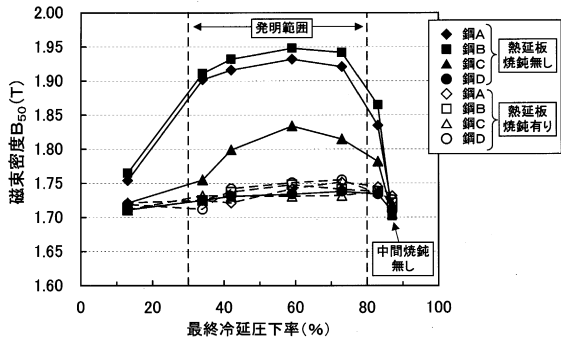
10

20

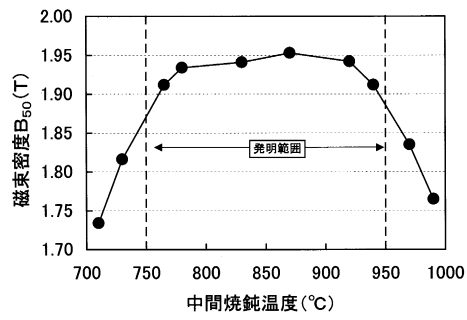
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



---

フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I  
B 2 1 B 3/02 (2006.01) B 2 1 B 3/02  
H 0 1 F 1/16 (2006.01) H 0 1 F 1/16 B

審査官 市川 篤

(56) 参考文献 特開平 0 7 - 1 9 7 1 2 6 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 2 2 6 8 1 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 2 - 2 1 2 6 3 9 ( J P , A )

(58) 調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
C 2 1 D 8 / 1 2  
B 2 1 B 3 / 0 2  
C 2 1 D 9 / 4 6  
C 2 2 C 3 8 / 0 0  
C 2 2 C 3 8 / 0 6  
C 2 2 C 3 8 / 6 0  
H 0 1 F 1 / 1 6