

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6283617号  
(P6283617)

(45) 発行日 平成30年2月21日 (2018. 2. 21)

(24) 登録日 平成30年2月2日 (2018. 2. 2)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 1 B 1/02 (2006. 01)  
 B 2 1 B 3/02 (2006. 01)  
 B 2 1 B 1/26 (2006. 01)  
 C 2 1 D 9/00 (2006. 01)

B 2 1 B 1/02 D  
 B 2 1 B 3/02  
 B 2 1 B 1/26 A  
 C 2 1 D 9/00 1 O 1 A  
 C 2 1 D 9/00 1 O 1 F

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2014-561247 (P2014-561247)  
 (86) (22) 出願日 平成24年3月29日 (2012. 3. 29)  
 (65) 公表番号 特表2015-511533 (P2015-511533A)  
 (43) 公表日 平成27年4月20日 (2015. 4. 20)  
 (86) 国際出願番号 PCT/CN2012/000401  
 (87) 国際公開番号 W02013/134897  
 (87) 国際公開日 平成25年9月19日 (2013. 9. 19)  
 審査請求日 平成26年9月10日 (2014. 9. 10)  
 (31) 優先権主張番号 201210065610.0  
 (32) 優先日 平成24年3月13日 (2012. 3. 13)  
 (33) 優先権主張国 中国 (CN)

前置審査

(73) 特許権者 514216801  
 バオシャン アイアン アンド スティール  
 カンパニー リミテッド  
 中華人民共和国 201900 シャンハイ、  
 バオシャン ディストリクト、フ  
 ージン ロード 885  
 (74) 代理人 110000914  
 特許業務法人 安富国際特許事務所  
 (72) 発明者  
 チャン、 ファウエイ  
 中華人民共和国 201900 シャンハイ、  
 バオシャン ディストリクト、フ  
 ージン ロード 885

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱延ケイ素鋼の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ケイ素鋼スラブに対して加熱工程、粗圧延工程及び仕上圧延工程を実施することを含む熱延ケイ素鋼の製造方法であって、

前記加熱工程は、予熱帯、加熱帯及び均熱帯を有する加熱炉内で実施され、

前記予熱帯は下記式 (1) :

【数 1】

$$V_{Tp} > \frac{220 \text{分}}{t} \times \frac{100^\circ\text{C}}{T_c + 200^\circ\text{C}} \times 25^\circ\text{C/分} \quad (1)$$

(式中、 $V_{Tp}$  は予熱帯での温度上昇率 (単位: /分) を表し、 $t$  は加熱炉内のスラブの総加熱時間  $t = 180 \sim 240$  分を表し、 $T_c$  はスラブの入炉初期温度 (単位: ) を表す) を満たし、

ケイ素鋼のケイ素含量  $x$  が 1.5 質量% 以上、2.1 質量% 以下であって、前記均熱帯は下記式 (2) :

$$10 \quad T_s \quad 30 \quad (2)$$

(式中、 $T_s$  は均熱帯での温度上昇量、すなわち、出炉直後のスラブ全体の温度と、加熱帯の終了時のスラブ全体の温度との差 (単位: ) を表す) を満たし、

前記加熱帯での温度上昇量は下記式 (3) :

加熱帯での温度上昇量 = { (出炉直後のスラブ全体の温度) - (均熱帯での温度上昇量) }

} - ( 予熱帯終了時の温度 ) ( 3 )

を満たし、

前記予熱帯は、入炉位置から、該入炉位置を起点として炉長の  $1/6 \sim 1/3$  離れた位置までの区域を指し、

前記均熱帯は、出炉位置から、該出炉位置を起点として炉長の  $1/6 \sim 1/3$  離れた位置までの区域を指し、

前記加熱帯は、前記予熱帯と前記均熱帯との間の部分を指す、

熱延ケイ素鋼の製造方法。

【請求項 2】

前記粗圧延工程において垂直ロールによる幅圧下を  $1 \sim 6$  パス行う、請求項 1 に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

10

【請求項 3】

前記垂直ロールによる幅圧下 1 回当たりの圧下量が  $10 \sim 40$  cm である、請求項 2 に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

【請求項 4】

前記粗圧延工程において水平圧下を  $3 \sim 8$  パス行い、累積圧下率が  $70 \sim 90\%$  である、請求項 2 に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

【請求項 5】

スラブ全体を出炉した直後の時点から、粗圧延の最終パスが完了する時点までの時間が  $360$  秒以内である、請求項 2 に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

20

【請求項 6】

前記粗圧延工程においてスラブサイジングプレスを使用し、その幅圧下量が  $10 \sim 180$  cm の範囲である、請求項 2 に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱間圧延（熱延）ケイ素鋼の製造方法に関する。具体的には、熱延ケイ素鋼の製造においてケイ素鋼のエッジ部の品質欠陥を改善する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

30

熱延ケイ素鋼の生産過程では、応力が集中したり温度変化が急激に起こったりするエッジ部において、圧延中に様々な欠陥が発生しやすい。これにより、ケイ素鋼の全体的な品質が影響を受け、製品の歩留まりが低下し、それにより生産性が低下する。具体的に言えば、エッジシーム疵は、熱延ケイ素鋼で通常見られるエッジ欠陥の一つである。ある研究によれば、圧延中のスラブのエッジ・角部は常に温度が低く、応力及び歪みが大きい状態にある。水平圧延時には、被圧延材にロールの内部摩擦力が働くため、角部の金属に対して強力な引張応力が作用し、最終的に被圧延材の上面へと流れる。水平圧延したパス数の増加に伴い、新たに形成された境界によって元の境界がスラブのエッジ部から離れた方に移動するとともに、強力な引張応力により「黒筋」という欠陥が発生し得る。

【0003】

40

上記エッジ欠陥を改善するために様々な研究がこれまでに報告されている。例えば、特許文献 1 には連続鋳造鋳型が開示されており、該連続鋳造鋳型によって、短いスラブの側壁が円弧状になるように設けられ、さらに 4 つの角が丸角になるように設けられることで、円弧状の丸角を有する鋳造スラブ側面が得られ、スラブを熱間圧延する過程で角のまくれ込みが防止され、エッジ部及び角部の急冷が回避されて長手方向の線状の黒筋や剥離といった欠陥がなくなる。特許文献 2 には、粗圧延及び仕上げ圧延においてスラブ表面温度と、一定の深さにおけるケイ素鋼温度との温度勾配を制御することにより、表面品質の高いケイ素鋼を得る方法が開示されている。非特許文献 1 においては、スラブ側面を凹造形するための凸型スラブサイジングプレス（SSP）モジュールと溝付ロールを用いて欠陥の発生を防いでいるが、この方法には以下の欠点がある。溝付ロールによって酷い擦傷が形成

50

されやすく、また、凸型SSPモジュールでは圧下が不安定となるため、結果として圧延が不安定となる。非特許文献2及び3では、数値シミュレーション計算手法によって、粗圧延時の垂直/水平圧延過程でのスラブエッジ部及び角部における基本的なメタルフローの規則を研究しており、被圧延材のエッジ部及び角部におけるメタルフローに対して様々な垂直ロール形状が及ぼす影響の規則について計算を行っている。しかしながら、これらの研究結果は生産検証を経たものではなく、また、これらは粗圧延時の垂直ロールによる圧下についての改良方法に属するものである。非特許文献4では、粗圧延機の垂直ロールを再設計、改変して、生産過程における機械的損傷をなくしている。また、実際の製造において、使用するSSPモジュールをスラブ側面を凹造形できるように改変している例もあるが、圧延中の凸型SSPモジュールとスラブの接触が不安定なため、両側面でのメタルフローが非対称となり、その後の粗圧延工程でスラブ形状を制御するのが困難となる。

10

【0004】

しかしながら、これまでの文献は全て、粗圧延の垂直ロール形状及び被圧延材形状を検討して、欠陥とエッジ部との距離(マージン)のシミュレーション計算を行ったものや、実際に改善を行ったものであり、被圧延材の温度、特に被圧延材の断面温度を変更することにより欠陥を除去、改善したという報告は今のところ存在しない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】中国実用新案第200720067413.7号明細書

20

【特許文献2】米国特許第5572892号明細書

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】YAMAGUCHI HARUO, KUSABA YOSHIAKI, YAMADA TAKEO, Techniques for the Control of Edge Crack Defects of Stainless Steel Sheets, Foreign Steel, 1996(12): 48-52.

【非特許文献2】Xiong Shangwu, J. M. C. Rodrigues, P. A. F. Martins. Three dimensional modelling of the vertical-horizontal rolling process [J], Finite Elements in Analysis and Design, 2003, 39: 1023-1037.

30

【非特許文献3】Xiong Shangwu, Liu Xianghua, Wang Guodong, et al. Three-dimensional thermo-mechanical finite element simulation of the vertical-horizontal rolling process [J]. Journal of Materials Processing Technology. 2001, 11: 89-97.

【非特許文献4】Gao Wenfang, Yan Zhengguo, Song Ping, Rao Kewei, Chen Fangwu, Kong Yongjiang, Research on the Linear Defects along the Edges of Shadow Mask and Chassis Cold-rolled Sheets [J], Steelmaking, 2003, 19(1).

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述の技術的課題を鑑みて、本発明者らは多くの試験を繰り返した。その結果、熱延ケイ素鋼の製造方法において、加熱工程を変更することでケイ素鋼のエッジ欠陥発生率を極めて良好に低減できること、及び、粗圧延工程を変更することで該欠陥発生率を更に低減できることを見出した。このようにして本発明者らは本発明を完成させた。

50

## 【 0 0 0 8 】

具体的に、本発明は熱延ケイ素鋼の製造方法を提供することを目的とする。該方法によれば、加熱工程及び粗圧延工程を変更することでケイ素鋼のエッジ欠陥を改善できるとともに、表面品質の高い熱延ケイ素鋼を製造できる。

## 【 0 0 0 9 】

すなわち、本発明の技術的解決手段は以下の通りである。

## 【 0 0 1 0 】

( 1 ) ケイ素鋼スラブに対して加熱工程、粗圧延工程及び仕上圧延工程を実施することを含む熱延ケイ素鋼の製造方法であって、上記加熱工程は、予熱帯、加熱帯及び均熱帯を有する加熱炉内で実施され、

10

上記予熱帯は下記式 ( 1 ) :

## 【 0 0 1 1 】

## 【 数 1 】

$$V_{Tp} > \frac{220 \text{分}}{t} \times \frac{100^\circ\text{C}}{T_c + 200^\circ\text{C}} \times 25^\circ\text{C/分} \quad (1)$$

## 【 0 0 1 2 】

( 式中、 $V_{Tp}$  は予熱帯での温度上昇率 ( 単位 : / 分 ) を表し、 $t$  は加熱炉内のスラブの総加熱時間  $t = 180 \sim 240$  分を表し、 $T_c$  はスラブの入炉初期温度 ( 単位 : ) を表す ) を満たし、

20

上記均熱帯は下記式 ( 2 - 1 ) 又は ( 2 - 2 ) :

ケイ素鋼のケイ素含量が 1 . 5 重量 % 以上の場合 :  $-10 \leq T_s \leq 30$  ( 2 - 1 )

ケイ素鋼のケイ素含量が 1 . 5 重量 % 未満の場合 :  $10 \leq T_s \leq 80$  ( 2 - 2 )

( 式中、 $T_s$  は均熱帯での温度上昇量、すなわち、出炉直後のスラブ全体の温度と、加熱帯の終了時のスラブ全体の温度との差 ( 単位 : ) を表す ) を満たし、

上記加熱帯での温度上昇量は下記式 ( 3 ) :

加熱帯での温度上昇量 = { ( 出炉直後のスラブ全体の温度 ) - ( 均熱帯での温度上昇量 ) } - ( 予熱帯終了時の温度 ) ( 3 )

を満たし、

上記予熱帯は、入炉位置から、該入炉位置を起点として炉長の  $1/6 \sim 1/3$  離れた位置までの区域を指し、

30

上記均熱帯は、出炉位置から、該出炉位置を起点として炉長の  $1/6 \sim 1/3$  離れた位置までの区域を指し、

上記加熱帯は、上記予熱帯と上記均熱帯との間の部分を指す、

熱延ケイ素鋼の製造方法。

## 【 0 0 1 3 】

( 2 ) 上記粗圧延工程において垂直ロールによる幅圧下を 1 ~ 6 パス行う、( 1 ) に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

## 【 0 0 1 4 】

( 3 ) 上記垂直ロールによる幅圧下 1 回当たりの圧下量が  $10 \sim 40 \text{ cm}$  である、( 2 ) に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

40

## 【 0 0 1 5 】

( 4 ) 上記粗圧延において水平圧下を 3 ~ 8 パス行い、累積圧下率が  $70 \sim 90 \%$  である、( 2 ) に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

## 【 0 0 1 6 】

( 5 ) スラブ全体を出炉した直後の時点から、粗圧延の最終パスが完了する時点までの時間が  $360$  秒以内である、( 2 ) に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

## 【 0 0 1 7 】

( 6 ) 上記粗圧延工程においてスラブサイジングプレスを使用し、その幅圧下量が  $10 \sim 180 \text{ cm}$  の範囲である、( 2 ) に記載の熱延ケイ素鋼の製造方法。

50

## 【発明の効果】

## 【0018】

本発明に係る熱延ケイ素鋼の製造方法によれば、熱延ケイ素鋼の製造におけるエッジ欠陥発生率を低減できるので、表面品質の高い熱延ケイ素鋼を製造できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0019】

【図1】粗圧延におけるスラブエッジ部及び角部のメタルフローの規則を表す。

【図2】本発明における加熱工程で得られた鑄造スラブの断面の温度分布を示す。

【図3】本発明における加熱方法による粗圧延によって得られた凹状側面を有する中間スラブを示す。

【図4】熱延ケイ素鋼のエッジシーム疵を示す写真（オンライン検出写真）である。

【図5】熱延ケイ素鋼のエッジシーム疵を示す写真（実物の写真）である。

【図6】本発明における加熱方法で製造されたケイ素鋼のエッジ部を示す写真である。

【図7】熱延ケイ素鋼の製造過程を示す模式図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0020】

熱延ケイ素鋼の製造方法は、主に、ケイ素鋼スラブに対して加熱工程、粗圧延工程及び仕上圧延工程を実施することを含んでおり、必要に応じて巻き取り工程を更に含んでもよい。巻き取り工程によって、熱延ケイ素鋼を巻き取ってケイ素鋼コイル、すなわちケイ素鋼ホットコイルとすることができる。

## 【0021】

本発明者らは、実際の製造に基づいて温度測定、観察及びシミュレーション計算を実施し、以下の結論に達した。熱延ケイ素鋼の場合、エッジ欠陥は、粗圧延の水平圧延及び垂直ロール圧延においてスラブ側面の上下エッジ部がそれぞれ上下面側に回り込むことを主な原因として発生する（図1参照）。エッジ部が表面側に回り込んだ後の発生メカニズムは、鋼種に応じて4種類考えられる。

## 【0022】

原因（1）：熱伝導率が低く塑性に劣る鋼種の場合

スラブエッジは、空冷の影響を最も強く受けるため、最も温度が低く、圧延されてケイ素鋼の表面側に回り込んで欠陥を形成する。エッジの温度が低いため、回り込んだ部分と周辺組織は変形抵抗が一致せず、したがって圧延延展時にクラックが発生し、さらにその後の圧延工程では溶接不良によって圧延方向に欠陥が形成される。

## 【0023】

原因（2）：相変態温度が比較的高い鋼種の場合

スラブエッジ部の金属が粗圧延時に二相域となるが、フェライトの変形応力はオーステナイト相の1/4と低く、フェライト相に変形が集中することから、その後の圧延工程において局所変形が増加しやすく、フェライト相が最終的には破断して欠陥が形成される。

## 【0024】

原因（3）：焼け過ぎとなりやすい鋼種の場合

スラブのエッジ及び側面における焼け過ぎによる欠陥が鋼板の表面のエッジ部に残存してエッジシーム疵となる。

## 【0025】

原因（4）：鉄皮膜を除去しにくい鋼種の場合

スラブエッジの酸化物層が除去しにくいため、鋼板の表面のエッジ部に残存してエッジシーム疵となる。

## 【0026】

本発明においては、熱延ケイ素鋼のエッジ品質の改善には加熱工程と粗圧延工程が関与しているだけであり、仕上圧延工程は特に限定されない。従来の熱延ケイ素鋼の製造方法における仕上圧延工程を採用してもよい。

## 【0027】

本発明における各工程を以下に詳述する。

#### 【 0 0 2 8 】

##### < 1 . 加熱工程 >

上記加熱工程は加熱炉内で実施する。加熱炉は特に限定されず、例えば、熱延ケイ素鋼の製造方法で通常使用されるウォーキングビーム式加熱炉を採用してもよい。バーナーの種類は、通常のバーナーでも、リジェネレーティブバーナーでもよい。

#### 【 0 0 2 9 】

熱延ケイ素鋼用加熱炉は、一般的に、予熱帯、加熱帯及び均熱帯の3つの炉帯に分けられる。しかし、新型の熱延加熱炉（パルス式加熱炉等）では、そのように厳密な区別を持たないものもあるため、上述した本発明の各炉帯は以下の原則に従って定義する。

・上記予熱帯は、入炉位置から、該入炉位置を起点として炉長の  $1/6 \sim 1/3$  離れた位置までの区域を指す。

・上記均熱帯は、出炉位置から、該出炉位置を起点として炉長の  $1/6 \sim 1/3$  離れた位置までの区域を指す。

・上記加熱帯は、上記予熱帯と上記均熱帯との間の部分を指す。

#### 【 0 0 3 0 】

従来の加熱システムは、予熱帯の温度がより低く、加熱帯の温度がより高く、均熱帯の温度が出炉温度と等しいという加熱特性を有するため、加熱帯でスラブに吸収される熱が継続して芯部へと伝導されることで、スラブの断面温度を均一に分布させるという目的が達成される。しかしながら、このような加熱システムを用いて製造される特定のケイ素鋼では、エッジシーム疵の発生率が非常に高く、酷い場合には80%を超えるため、トリミングして欠陥を除去しなければならない場合が多い。

#### 【 0 0 3 1 】

本発明中、加熱工程には以下の要求が課される。

#### 【 0 0 3 2 】

##### ( 1 ) 均熱帯の温度上昇

図2に示すようなスラブ断面の温度分布を達成することを目的とする。すなわち、スラブの表面温度、特にスラブのエッジ温度をより高くすることを目的とする。この目的は以下に示すように3つある。

#### 【 0 0 3 3 】

##### 1 . 上記原因 ( 1 ) による欠陥の除去

スラブエッジ部の温度がより高いと、粗圧延における成形性が向上し、回り込んだエッジとその周辺組織との展延性の差が小さくなり、欠陥の程度が低減したり、欠陥の発生が回避されたりする。

#### 【 0 0 3 4 】

##### 2 . 上記原因 ( 2 ) による欠陥の除去

加熱工程においてスラブエッジ部の温度がより高くなり、粗圧延工程において相変態点以上の温度となる（又は粗圧延の最終パス時に相変態が起こる）ことから、相変態による欠陥が避けられる。

#### 【 0 0 3 5 】

3 . 粗圧延において表面が水平方向に大きく延展されることによる、欠陥とエッジ部との距離の短縮

上下表面は温度が高いため変形抵抗がより低いので、圧延時により大きく延展され、回り込んだエッジ部から表面までのマージンが短縮される。実際に製造を行ってこの結果を検証した。図3は、加熱工程を調整して得られた、粗圧延後の凹状側面を有する中間スラブを表す。

#### 【 0 0 3 6 】

したがって、本発明において均熱帯は下記式 ( 2 - 1 ) 又は ( 2 - 2 ) :

ケイ素鋼のケイ素含量が 1 . 5 重量 % 以上の場合 :  $-10 \leq T_s \leq 30$  ( 2 - 1 )

ケイ素鋼のケイ素含量が 1 . 5 重量 % 未満の場合 :  $10 \leq T_s \leq 80$  ( 2 - 2 )

10

20

30

40

50

(式中、 $T_s$  は均熱帯での温度上昇量、すなわち、出炉時のスラブ全体の温度と、加熱帯の終了時のスラブ全体の温度との差(単位: )を表す)を満たす。

【0037】

均熱帯の温度を上昇させることで、上記原因(1)及び原因(2)による欠陥を除去できる。

【0038】

(2) 予熱帯での温度上昇

本発明中、予熱帯では温度を高くする必要がある。これは、その後の加熱帯で温度が低下するからである。このように、スラブを炉内に保持する時間を延長することなく同じ生産ペースを保つためには、他の炉帯の加熱温度を高くして、スラブの熱吸収に対する加熱帯

10

【0039】

したがって、予熱帯は下記式(1)：

【0040】

【数2】

$$V_{Tp} > \frac{220 \text{分}}{t} \times \frac{100^\circ\text{C}}{T_c + 200^\circ\text{C}} \times 25^\circ\text{C/分} \quad (1)$$

【0041】

(式中、 $V_{Tp}$  は予熱帯での温度上昇率(単位: /分)を表し、 $t$  は加熱炉内のスラブの総加熱時間  $t = 180 \sim 240$  分を表し、 $T_c$  はスラブの入炉初期温度(単位: )を表す)を満たす。

20

【0042】

(3) 加熱帯での温度低下

加熱帯の温度を低下させることで、スラブエッジ部の焼け過ぎを防止でき、上記原因(3)による線状欠陥を避けることができる。一方、加熱温度が高いと酸化過程が促進され、さらに温度上昇によって酸化物の成分が変性するため、出炉時に層状の鉄皮膜が形成されやすく、該皮膜を除去するのが困難である。したがって、加熱帯での温度を低下させることで、上記原因(4)によるエッジシーム疵も防止できる。

【0043】

30

だが実際のところは、加熱帯において炉内保持時間が異なっても、出炉温度が異なっても、炉内気体温度の設定に特に要求が課されることはなく、予熱帯の温度及び均熱帯での温度上昇量に基づいて決定できる。

【0044】

この方法では予熱帯及び均熱帯での加熱方法が限定されるため、加熱帯の温度は実際の製造に応じて決定される。具体的には、加熱帯でのスラブの温度上昇量は下記式(3)：

加熱帯でのスラブの温度上昇量 = { (出炉温度) - (均熱帯での温度上昇量) } - (予熱帯終了時の温度) (3)

(式中、出炉温度は、出炉直後のスラブ全体の温度、すなわち、スラブの目標加熱温度を表し、均熱帯での温度上昇量は、上述の通り、出炉直後のスラブ全体の温度と、加熱帯の終了時のスラブ全体の温度との差(単位: )を表し、予熱帯終了時の温度は、予熱帯から出た直後のスラブ全体の温度を表す)を満たす。

40

【0045】

加熱帯における炉内気体温度は、上で算出される加熱帯での温度上昇量に基づき、実際の生産ペース(炉内のスラブ前進速度)を加味して決定される。

【0046】

< 2. 粗圧延工程 >

本発明中、粗圧延工程における各用語は以下の通り定義される。

【0047】

「幅圧下量」は、スラブが幅方向に受ける変形力による実際の幅減少量を意味する。ここ

50

での変形力は、垂直ロール又はスラブサイジングプレスによるものであってもよい。

【0048】

「垂直ロールによる幅圧下」は、垂直ロールによるスラブの実際の圧下量、すなわち垂直ロール圧延を施した後のスラブの幅減少量を意味する。

【0049】

「1回当たりの圧下量」は、垂直ロール圧延1回当たりのスラブの幅減少量を意味する。

【0050】

「水平圧下」は、水平ロールの圧力を受けて生じるスラブの変形を意味する。

【0051】

「累積圧下率」は、圧延開始時のスラブの入側厚さに対する圧延終了時のスラブの出側厚さの比(%)を意味する。

10

【0052】

「SSP幅圧下量」は、SSPによる圧下後のスラブの幅減少量を意味する。

【0053】

本発明中、粗圧延工程においては、既存の熱延ケイ素鋼の製造方法で通常使用される粗圧延装置を採用してもよい。粗圧延装置としては、2ロール圧延機又は4ロール圧延機を採用してもよい。

【0054】

粗圧延工程の各パラメータの設定については、現在一般的に使用されているパラメータを参照できる。しかしながら、粗圧延工程のいくつかのパラメータを以下のように設定した場合、熱延ケイ素鋼におけるエッジ欠陥発生率を更に低減できる。

20

【0055】

(1) 幅圧下量

本発明においては、垂直ロールによる幅圧下を1～6パス行い、幅圧下1回当たりの圧下量が10～40cmである。垂直ロールによる幅圧下を3パス行い、1回当たりの圧下量が30cmであることが好ましい。

【0056】

(2) 水平圧下

本発明においては、水平ロールによる圧下を3～8パス行い、累積圧下率が70～90%である。

30

【0057】

(3) 脱スケール水

表面温度が低下し過ぎるのを防ぐために、加熱炉からスラブを抽出してから中間テーブルロールまでの間で、粗圧延域で使用する水のパス数は4パス以下とする。

【0058】

(4) 粗圧延時間

表面温度が低下し過ぎるのを防ぐために、粗圧延は迅速に進行させるべきである。スラブ全体を出炉した直後の時点から、粗圧延の最終パスが完了する時点までの時間は360秒以内とする。

【0059】

40

(5) スラブサイジングプレス(SSP)

粗圧延工程においては、必要に応じてSSPを使用してもよい。凹状輪郭を有するSSPモジュールを使用すると、エッジ欠陥とエッジ部との距離を短縮しやすくなる。したがって、その後の工程でのトリミング量を低減して歩留まりを増やすことができる。SSPを使用する場合、その幅圧下量は10～180cmの範囲にする必要がある。

【0060】

<3. 仕上圧延工程>

本発明に係る熱延ケイ素鋼の製造方法においては、熱延ケイ素鋼のエッジ品質を改善するのに仕上圧延工程の改良を必要としないため、仕上圧延工程は特に限定されない。現在、熱延ケイ素鋼の製造方法において通常使用される仕上圧延装置(一般的には5～7スタン

50



ドの４ロール圧延機)を採用してもよい。

【００６１】

< ４．巻き取り工程 >

本発明の熱延ケイ素鋼は、必要に応じて巻き取って熱延ケイ素鋼コイル、すなわちケイ素鋼ホットコイルとしてもよい。

【実施例】

【００６２】

次に、実施例、参考例及び比較例とともに本発明の技術的解決手段を詳述するが、本発明はこれらに限定されない。

【００６３】

製造において使用した材料及び装置を以下に記載する。

【００６４】

スラブ材料：本発明では、様々なケイ素含量のケイ素鋼スラブ（パオシャン アイアンアンド スティール社製）を使用するが、市販品も使用できる。

加熱炉：リジェネレーティブバーナーを備えたウォーキングビーム式加熱炉

スラブサイジングプレス（ＳＳＰ）：入側ガイド板と、入出側ピンチロールと、圧力ロールとを備えたサイジングプレス

粗圧延装置：２スタンド（第１スタンドは垂直ロールを有さない２ロール圧延機であり、第２スタンドは垂直ロールを備える可逆圧延式４ロール圧延機である）

仕上圧延装置：７スタンドの４ロール圧延機

【００６５】

（実施例１～２、参考例３、実施例４～５）

ケイ素鋼スラブＡ（ケイ素含量：２．１重量％）に対して以下の工程を順次実施することで、熱延ケイ素鋼を製造する。

【００６６】

（１）加熱工程

表１に示す加熱条件に従って実施例１～２、参考例３、実施例４～５のスラブをそれぞれ加熱炉に装入し、３段階加熱工程（すなわち予熱帯、加熱帯及び均熱帯）を順次実施した後、出炉する。

【００６７】

（２）粗圧延工程

表１に従って、幅圧下量、水平圧下量、脱スケール水工程において粗圧延域で使用する水のパス数、及び、粗圧延時間を設定し、加熱工程後のケイ素鋼スラブを粗圧延装置に送給して粗圧延工程を行う。

【００６８】

実施例５ではスラブサイジングプレスを使用するが、実施例１～２、参考例３、実施例４では使用しない。

【００６９】

（３）仕上圧延工程

粗圧延したスラブを仕上圧延装置に送給して仕上圧延工程を行う。

【００７０】

パラメータは以下の通り設定する。

圧延速度：９～１１ｍ／秒

目標厚さ：２．０～２．６ｍｍ

【００７１】

その後、各熱延ケイ素鋼製品のエッジ欠陥発生率を評価する。

【００７２】

帯鋼用の表面品質オンライン検出器を使用して、熱延ケイ素鋼の上下面について全長にわたって全てが撮影範囲内となるように撮影した後、熱延ケイ素鋼の上面、下面及び両側面の４箇所について全長にわたって表面品質を手動で検査する。エッジ部から１５ｍｍ離れ

10

20

30

40

50

た距離を基準とし、上記範囲内に５メートルにわたって連続しているか、あるいは１０個を超えるエッジシーム疵があった場合、熱延ケイ素鋼は不合格であると判断する。本試験では、帯鋼コイルを複数個生産する。

欠陥発生率＝（ケイ素鋼の不合格数）／（ケイ素鋼コイルの生産数）×％

【００７３】

【表１】

			実施例		参考例	実施例	
			1	2	3	4	5
スラブ全体の入炉温度			288	268	285	272	283
加熱工程	予熱帯	温度上昇率 $V_{Tp}$ (℃／分)	8	5	5	8	8
	加熱帯	温度上昇量 (℃)	310	466	499	294	311
	均熱帯	温度上昇量 (℃)	10	10	－ 10	30	10
	加熱炉内の スラブの総保持時間 (分)		221	218	215	217	218
スラブ全体の出炉温度 (℃)			1120	1120	1120	1120	1120
粗圧延工程	1回当たりの圧下量 (cm)		10	20	40	20	30
	垂直ロールによる幅圧下 (パス)		1	3	4	6	3
	粗圧延時間 (秒)		210	210	210	200	200
	SSP		－	－	－	－	使用
評価	エッジ欠陥発生率		0.5%	2.2%	3.0%	1.8%	2.0%

【００７４】

表１から分かる通り、加熱工程及び粗圧延工程がいずれも本発明の製造方法に従っている実施例１～２、参考例３、実施例４～５では、エッジ欠陥発生率はいずれも３．０％以下である。

【００７５】

（実施例６～７、参考例８、実施例９～１０）

実施例１～２、参考例３、実施例４～５で使用したケイ素鋼スラブＡ（ケイ素含量：２．１重量％）を使用するが、粗圧延工程は表２に従って行い、残りの工程は実施例１～２、参考例３、実施例４～５と同様に実施して、実施例６～７、参考例８、実施例９～１０のケイ素鋼を製造する。

【００７６】

実施例１～２、参考例３、実施例４～５と同様の評価方法を採用して、実施例６～７、参考例８、実施例９～１０のケイ素鋼のエッジ欠陥発生率を評価する。

【００７７】

10

20

30

40

【表 2】

		実施例		参考例	実施例	
		6	7	8	9	10
粗圧延工程	1回当たりの圧下量 (cm)	0	0	50	50	50
	垂直ロールによる幅圧下 (パス)	3	3	3	3	3
	粗圧延時間 (秒)	200	290	200	290	200
	SSP	－	－	－	－	使用
評価	エッジ欠陥発生率	3.6%	4.7%	4.1%	5.0%	3.5%

10

## 【0078】

表 2 から分かる通り、加熱工程には本発明の方法を採用し、粗圧延工程には従来通り既存のケイ素鋼製造方法を採用した実施例 6 ～ 7、参考例 8、実施例 9 ～ 10では、エッジ欠陥発生率は 3.5% ～ 5% であり、加熱工程及び粗圧延工程がいずれも本発明の製造方法に従っている実施例 1 ～ 2、参考例 3、実施例 4 ～ 5 よりもわずかに高い。

## 【0079】

20

(参考例 11 ～ 15)

ケイ素鋼スラブ B (ケイ素含量：0.5 重量%) を使用するが、加熱工程は表 3 に従って行い、残りの工程は実施例 1 ～ 2、参考例 3、実施例 4 ～ 5 と同様に実施して、参考例 11 ～ 15 のケイ素鋼を製造する。実施例 1 ～ 2、参考例 3、実施例 4 ～ 5 と同様の方法に従ってエッジ欠陥発生率を評価する。

## 【0080】

【表 3】

			参考例				
			11	12	13	14	15
加熱工程	予熱帯	温度上昇率 $V_{Tp}$ (°C/分)	5	5	5	5	5
	加熱帯	温度上昇量 (°C)	480	461	433	391	362
	均熱帯	温度上昇量 (°C)	－ 10	10	40	80	100
加熱炉内のスラブの総保持時間 (分)			215	216	213	211	213
評価	エッジ欠陥発生率		1.8%	1.1%	0.5%	1.2%	2.2%

30

40

## 【0081】

表 3 から分かる通り、ケイ素含量が 0.5 重量% のケイ素鋼スラブに対して本発明における加熱方法及び粗圧延方法を適用した場合も、エッジ欠陥発生率をより低いレベルに抑えることができる。

## 【0082】

(比較例 1 ～ 5)

比較例 1 ～ 3 ではケイ素鋼スラブ A (ケイ素含量：2.1 重量%) を使用し、比較例 4 ～ 5 ではケイ素鋼スラブ B (ケイ素含量：0.5 重量%) を使用する。比較例 1 ～ 5 ではそれぞれ、表 4 に示したパラメータに従って加熱工程と粗圧延工程を実施する以外は、実施

50

例 1 ~ 2、参考例 3、実施例 4 ~ 5 と同様にして比較例 1 ~ 5 のケイ素鋼を製造する。また、実施例 1 ~ 2、参考例 3、実施例 4 ~ 5 と同様の方法に従ってエッジ欠陥発生率を評価する。

【 0 0 8 3 】

【表 4】

			比較例				
			1	2	3	4	5
ケイ素鋼スラブのケイ素含量(重量%)			2.1	2.1	2.1	0.5	0.5
スラブ全体の入炉温度(°C)			281	277	275	270	263
加熱工程	予熱帯	温度上昇率 $V_{Tp}$ (°C/分)	3	3	3	3	3
	加熱帯	温度上昇量 (°C)	471	470	475	570	457
	均熱帯	温度上昇量 (°C)	80	80	80	- 20	100
加熱炉内のスラブの総保持時間 (分)			191	193	188	183	181
スラブ全体の出炉温度(°C)			1120	1120	1120	1120	1120
粗圧延工程	1回当たりの圧下量 (cm)		50	7	50	50	50
	垂直ロールによる幅圧下 (パス)		3	3	3	3	3
	粗圧延時間 (秒)		240	240	200	200	200
	SSP		-	-	-	-	使用
評価	エッジ欠陥発生率		11%	8%	7%	8%	6%

【 0 0 8 4 】

表 4 から分かる通り、これらの製造方法に従って製造された熱延ケイ素鋼、すなわち比較例 1 ~ 5 では、エッジ欠陥発生率は、それぞれ 11%、8%、7%、8% 及び 6% であり、本発明に係る実施例 1 ~ 2、参考例 3、実施例 4 ~ 7、参考例 8、実施例 9 ~ 10、参考例 11 ~ 15 の熱延ケイ素鋼のエッジ欠陥発生率より明らかに高い。

【 0 0 8 5 】

実施例 1 ~ 2、参考例 3、実施例 4 ~ 7、参考例 8、実施例 9 ~ 10、参考例 11 ~ 15 及び比較例 1 ~ 5 から分かる通り、熱延ケイ素鋼を製造する際に本発明における加熱工程を用いると、エッジ欠陥発生率を明らかに低減でき、本発明における加熱工程と粗圧延工程を同時に採用すると、エッジ欠陥発生率を更に良好に低減できる。

【 0 0 8 6 】

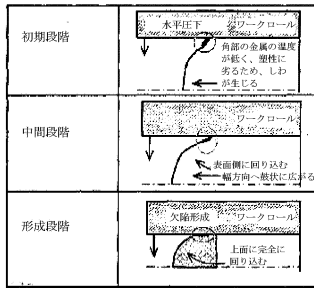
したがって、本発明における加熱工程と粗圧延工程を同時に採用することが理想的である。

【産業上の利用可能性】

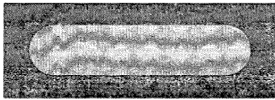
【 0 0 8 7 】

本発明の製造方法は、熱延ケイ素鋼のエッジ欠陥を効果的に低減でき、表面品質の高い熱延ケイ素鋼を生産できるため、ケイ素鋼ホットコイルの生産に幅広く適用できる。

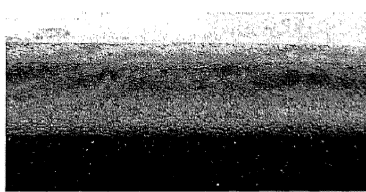
【図 1】



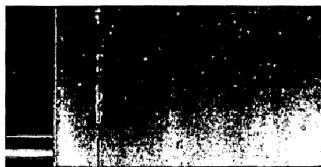
【図 2】



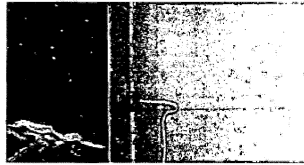
【図 3】



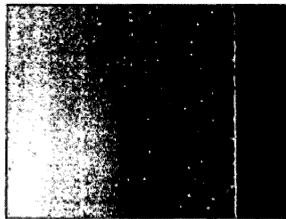
【図 4】



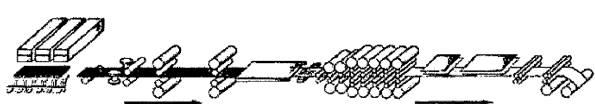
【図 5】



【図 6】



【図 7】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ウー, ヤーピン  
中華人民共和国 201900 シャンハイ, パオシャン ディストリクト, フージン ロード 885
- (72)発明者 ゴン, ユー  
中華人民共和国 201900 シャンハイ, パオシャン ディストリクト, フージン ロード 885
- (72)発明者 スン, イェジョン  
中華人民共和国 201900 シャンハイ, パオシャン ディストリクト, フージン ロード 885
- (72)発明者 ヘイ, ホンシュ  
中華人民共和国 201900 シャンハイ, パオシャン ディストリクト, フージン ロード 885

審査官 國方 康伸

- (56)参考文献 中国特許出願公開第101245435 (CN, A)  
特開平11-123404 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- B21B 1/00 - 11/00
  - B21B 47/00 - 99/00
  - C21D 9/00 - 9/44
  - C21D 9/50
  - JSTPlus /
  - JST7580 /
  - JSTChina (JDreamIII)