

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7117372号
(P7117372)

(45)発行日 令和4年8月12日(2022.8.12)

(24)登録日 令和4年8月3日(2022.8.3)

(51)国際特許分類

C 2 1 D	9/60 (2006.01)	F I	C 2 1 D	9/60	1 0 1
C 2 2 C	38/00 (2006.01)		C 2 2 C	38/00	3 0 3 U
C 2 2 C	38/34 (2006.01)		C 2 2 C	38/34	
C 2 1 D	8/12 (2006.01)		C 2 1 D	8/12	B

請求項の数 10 (全16頁)

(21)出願番号 特願2020-516851(P2020-516851)
 (86)(22)出願日 平成30年5月16日(2018.5.16)
 (65)公表番号 特表2020-534435(P2020-534435)
 A)
 (43)公表日 令和2年11月26日(2020.11.26)
 (86)国際出願番号 PCT/CN2018/087069
 (87)国際公開番号 WO2019/080482
 (87)国際公開日 令和1年5月2日(2019.5.2)
 審査請求日 令和2年3月23日(2020.3.23)
 (31)優先権主張番号 201711004691.2
 (32)優先日 平成29年10月24日(2017.10.24)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 中国(CN)

(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 100080791
 弁理士 高島一
 (74)代理人 100136629
 弁理士 鎌田光宜
 (74)代理人 100125070
 弁理士 土井京子
 (74)代理人 100121212
 弁理士 田村弥栄子
 (74)代理人 100174296

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

加熱ゾーンと均熱ゾーンと冷却ゾーンとを備える冷間圧延鋼帯の連続焼鈍設備であつて、前記加熱ゾーンが、被加熱鋼帯の移動方向に沿つて順に、前記鋼帯を、200から目標キュリー温度 - 100までの温度範囲に加熱する、ガス加熱または電気加熱による第1輻射加熱機構が設けられる第1加熱帯、前記鋼帯を、300から前記目標キュリー温度 - 50までの温度範囲に加熱する、第1誘導コイルによる第1誘導加熱機構が設けられる第2加熱帯、

前記鋼帯を、前記目標キュリー温度 - 30から前記目標キュリー温度 - 3までの温度範囲に加熱する、第2誘導コイルによる第2誘導加熱機構が設けられる第3加熱帯、および

鋼帯を、前記目標キュリー温度よりも高い温度に加熱する、ガス加熱または電気加熱による第2輻射加熱機構が設けられる第4加熱帯、に区画されることを特徴とする冷間圧延鋼帯の連続焼鈍設備。

【請求項2】

前記第1加熱帯と前記第2加熱帯との間に少なくとも1つの多波長の第1板温度計が設けられ、前記第2加熱帯と前記第3加熱帯との間に少なくとも1つの多波長の第2板温度計が設けられ、前記第3加熱帯と前記第4加熱帯との間に少なくとも1つの多波長の第3板温度計が設けられていることを特徴とする請求項1に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍設備。

【請求項 3】

前記第1誘導加熱機構が、順次接続された第1整流器と、第1インバータと、第1誘導コイルを含む第1発振回路とを備え、前記第1インバータが、前記第1整流器から供給される第1直流電力を受けて第1高周波電流に変換して前記第1発振回路に供給するものであり、

前記第2誘導加熱機構が、順次接続された第2整流器と、第2インバータと、第2誘導コイルを含む第2発振回路とを備え、前記第2インバータが、前記第2整流器から供給される第2直流電力を受けて第2高周波電流に変換して前記第2発振回路に供給するものであることを特徴とする請求項1に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍設備。

【請求項 4】

前記第1誘導加熱機構と第2誘導加熱機構の電流周波数の範囲が100～1000KHzであることを特徴とする請求項1に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍設備。

【請求項 5】

請求項1～4のいずれか1項に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍設備を用いて被加熱鋼帯を加熱することを特徴とする冷間圧延鋼帯の連続焼鈍方法。

【請求項 6】

第1加熱帯出口における第1目標板温を400～550とするなどを特徴とする請求項5に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍方法。

【請求項 7】

第3加熱帯の昇温速度に応じて第2加熱帯出口における第2目標板温を設定し、前記第3加熱帯の昇温速度を50～150/sとすることを特徴とする請求項5に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍方法。

【請求項 8】

前記第2加熱帯の電力制御方法として、前記第2目標板温と第2板温度計の検出値との比較結果に基づき、前記第2加熱帯の加熱電力を調整することを特徴とする請求項7に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍方法。

【請求項 9】

前記第3加熱帯の電力制御方法として、前記第3加熱帯の初期電力と前記第3加熱帯出口における第3目標板温を設定し、前記第3目標板温と第3板温度計の検出値との比較結果に基づき、前記初期電力に応じて前記第3加熱帯の加熱電力を調整することを特徴とする請求項5に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍方法。

【請求項 10】

前記第3加熱帯の電力制御方法として、前記第3加熱帯の目標インピーダンスを設定し、前記目標インピーダンスと前記第3加熱帯の動作インピーダンスとの比較結果に基づき、前記第3加熱帯の加熱電力を調整することを特徴とする請求項5に記載の冷間圧延鋼帯の連続焼鈍方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、鉄鋼生産の技術分野に関し、特に、質量分率で、Si含有量が4.5%以下である方向性ケイ素鋼による冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

金属鋼帯の連続焼鈍の過程において、高品質の製品を得るために、一般的に、加熱温度と加熱時間を厳密に管理する必要がある。例えば、変圧器の鉄心に用いられる低鉄損高磁気誘導のケイ素鋼として、その製造過程における脱炭焼鈍工程において、極めて厳しい温度管理要求を採用する必要がある。鋼帯の加熱帯出口温度が低いと、有効な脱炭時間が減少し、脱炭効果に劣る。鋼帯の加熱帯出口温度が高く、短時間で目標均熱温度を超える可能性があると、緻密な酸化被膜が早期に形成されて脱炭が阻害され、さらに脱炭効果が良くない。いずれにしても、加熱帯温度の変動は、脱炭安定性に影響を及ぼすだけでなく

10

20

30

40

50

、磁気特性の変動を招き、完成品の表面欠陥の発生率を大幅に増加させる。

【0003】

近年、方向性ケイ素鋼による冷間圧延鋼帯は、急速加熱プロセスを用いて熱処理を行うことが多くなってきている。他の急速加熱方法、例えば通電による急速加熱などの方法に比べて、誘導加熱方法の使用が最も広く、最も成熟している。

【0004】

例えば、中国特許（C N 1 0 1 6 5 2 4 8 5 A）には、加熱帯が、鋼帯を、キュリー温度 $T_c - 50$ よりも低い温度となるように加熱する、ガス加熱または電気加熱による輻射加熱帯を使用する第1加熱帯；鋼帯を、キュリー温度 $T_c - 30$ からキュリー温度 $T_c - 5$ の温度となるように加熱する、高周波誘導加熱帯である第2加熱帯；鋼帯を、キュリー温度 T_c を超える目標温度に加熱する、第1加熱帯の構造と類似し、輻射加熱帯である第3加熱帯；に区画される焼鈍設備が開示されている。該焼鈍設備の加熱帯の主な特徴は、加熱帯の間に1つの急速誘導加熱帯が設けられ、その最大不足が以下のとおりである。（1）1台の誘導加熱装置の最大能力に制約され、第1加熱帯の出口板温が通常キュリー温度 $T_c - 150$ 以上であり、かつ第1加熱帯の出口板温が500以上であることが必要である。厚い鋼帯またはライン速度が速い場合、第1加熱帯の出口温度はさらに高くする必要があり、そうでなければ第2加熱帯出口の鋼帯温度がキュリー温度 T_c に到達または接近できず、さらには板幅方向への温度均一性が悪くなるため、生産効率のさらなる向上が制約される。（2）急速昇温カーブが単一であり、一次再結晶集合組織の精確な制御に不利であり、完成品の磁気特性の改善効果が制限される。（3）冷間圧延鋼帯の表面状態の変動および第1加熱帯の運転動作の変動により、第1加熱帯の出口板温が通常、変動が大きく、高周波誘導加熱の特性を利用することにより第2加熱帯の出口板温の安定化制御が可能であるが、この特許文献に開示されているような複雑な制御手段を採用することが前提であり、板温の制御技術への要求が高い。

10

20

30

40

【0005】

中国特許（C N 1 0 4 6 0 3 2 9 8 A）には、加熱帯が、少なくとも1台の誘導加熱装置を備える、誘導加熱帯である第1帯；長さを1～30mとする1つの加熱停止区または昇温速度が0～10 / sとなる遅い加熱ゾーンである、板温が250～600となる第2帯；同様に少なくとも1台の誘導加熱装置を備える、誘導加熱帯である第3帯；従来の輻射加熱帯である第4帯；に区画される焼鈍設備が開示されている。なお、第2帯の役割は、急速加熱後の鋼帯内の温度分布を均一にし、鋼帯板形状と磁気性能の向上を図ることである。該焼鈍設備の加熱帯は、室温から2台以上の誘導加熱装置を使用し、鋼帯をキュリー温度 T_c 付近まで急速昇温することを主な特徴としている。該方法の不足は、以下のとおりである。（1）鋼帯を室温からキュリー温度 T_c 付近まで急速加熱しようとするため、少なくとも3台、さらに4台の誘導加熱装置を直列接続する必要があり、そうでなければ製品仕様やライン速度が制限される。（2）冷間圧延鋼帯は、回復焼鈍の前に、非常に高い昇温速度を採用するため、250～600で温度バッファゾーンを別途増加させる必要があり、そうでなければ応力集中と板温ムラなどの問題より、鋼帯板形状と磁気性能が劣化する。（3）入口に内高が非常に小さい誘導加熱装置を使用するため、加熱帯炉圧と保護雰囲気に特化した制御方法を設計する必要があり、そうでなければ完成品の表面欠陥が増加する。このため、この方法は、設備投資コストが相対的に高く、かつ炉内雰囲気の制御が困難である。

【0006】

従来の技術の上記不足に対して、本発明は、加熱帯板温の制御精度が高く、完成品の磁気特性と表面質量に優れた、質量分率で、Si含有量が4.5%以下である方向性ケイ素鋼による冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法を提供する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明は、従来の焼鈍炉加熱帯中に2つの誘導加熱装置を

50

直列接続することにより、生産効率を向上させ、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費を低減しつつ、板温制御の精度および完成品の品質を向上させる冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 8】

上記目的を達成するために、本発明に係る冷間圧延鋼帯の急速加熱装置は、加熱ゾーンと均熱ゾーンと冷却ゾーンとを備え、前記加熱ゾーンが、被加熱鋼帯の移動方向に沿って順に、

前記鋼帯を、200 から目標キュリー温度 - 100 までの温度範囲に加熱可能な、ガス加熱または電気加熱による第 1 輻射加熱機構が設けられる第 1 加熱帯、

前記鋼帯を、300 から前記目標キュリー温度 - 50 までの温度範囲に加熱可能な、第 1 誘導コイルによる第 1 誘導加熱機構が設けられる第 2 加熱帯、

前記鋼帯を、前記目標キュリー温度 - 30 から前記目標キュリー温度 - 3 までの温度範囲に加熱可能な、第 2 誘導コイルによる第 2 誘導加熱機構が設けられる第 3 加熱帯、および

鋼帯を、前記目標キュリー温度よりも高い温度に加熱可能な、ガス加熱または電気加熱による第 2 輻射加熱機構が設けられる第 4 加熱帯、に区画される。

【0 0 0 9】

さらに、前記第 1 加熱帯と前記第 2 加熱帯との間に少なくとも 1 つの異なる波長の第 1 板温度計が設けられ、前記第 2 加熱帯と前記第 3 加熱帯との間に少なくとも 1 つの異なる波長の第 2 板温度計が設けられ、前記第 3 加熱帯と前記第 4 加熱帯との間に少なくとも 1 つの異なる波長の第 3 板温度計が設けられている。

【0 0 1 0】

さらに、前記第 1 誘導加熱機構が、順次接続された第 1 整流器と、第 1 インバータと、第 1 誘導コイルを含む第 1 発振回路とを備え、前記第 1 インバータが、前記第 1 整流器から供給される第 1 直流電力を受けて第 1 高周波電流に変換して前記第 1 発振回路に供給するものであり、前記第 2 誘導加熱機構が、順次接続された第 2 整流器と、第 2 インバータと、第 2 誘導コイルを含む第 2 発振回路とを備え、前記第 2 インバータが、前記第 2 整流器から供給される第 2 直流電力を受けて第 2 高周波電流に変換して前記第 2 発振回路に供給するものである。

【0 0 1 1】

さらに、前記第 1 誘導加熱機構と第 2 誘導加熱機構の電流周波数の範囲が 100 ~ 1000 KHz である。

【0 0 1 2】

さらに、本発明は、上記冷間圧延鋼帯の急速加熱装置を用いて被加熱鋼帯を加熱する冷間圧延鋼帯の急速加熱方法を提供する。

【0 0 1 3】

さらに、第 1 加熱帯出口における第 1 目標板温を 400 ~ 550 とする。

【0 0 1 4】

さらに、第 3 加熱帯の昇温速度に応じて第 2 加熱帯出口における第 2 目標板温を設定し、前記第 3 加熱帯の昇温速度を 50 ~ 150 / s とする。

【0 0 1 5】

さらに、前記第 2 加熱帯の電力制御方法としては、前記第 2 目標板温と第 2 板温度計の検出値との比較結果に基づき、前記第 2 加熱帯の加熱電力を調整する。

【0 0 1 6】

さらに、前記第 3 加熱帯の電力制御方法としては、前記第 3 加熱帯の初期電力と前記第 3 加熱帯出口における第 3 目標板温を設定し、前記第 3 目標板温と第 3 板温度計の検出値との比較結果に基づき、前記初期電力に応じて前記第 3 加熱帯の加熱電力を調整する。

【0 0 1 7】

さらに、前記第 3 加熱帯の電力制御方法としては、前記第 3 加熱帯の目標インピーダン

10

20

30

40

50

スを設定し、前記目標インピーダンスと前記第3加熱帯の動作インピーダンスとの比較結果に基づき、前記第3加熱帯の加熱電力を調整する。

【発明の効果】

【0018】

本発明に係る冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法は、従来の焼鈍炉加熱帯中に2つの誘導加熱装置を直列接続することにより、加熱ゾーンを4つの加熱帯に形成させ、なかでも、第1加熱帯の設定は、室温からそのまま急速加熱することによる鋼板状および磁気特性の劣化との問題を効果的に回避することを目的とする。第2加熱帯および第3加熱帯の2つの誘導加熱帯の設定は、従来の一段階の誘導加熱帯に比べ、加熱ゾーンの全長を短縮し、急速昇温の開始温度を下げることで、生産効率を向上させ、鋼1トン当たりのエネルギー消費を低減できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の実施例に係る冷間圧延鋼帯の急速加熱装置の概略図である。

【図2】本発明の実施例に係る第1誘導加熱機構の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、添付図面を参照し、さらに本発明に係る構造および動作原理などについて説明する。

【0021】

図1に示すように、本発明の実施例に係る冷間圧延鋼帯10の急速加熱装置は、加熱ゾーンと均熱ゾーンと冷却ゾーンとを備える。なかでも、加熱ゾーンは被加熱鋼帯10の移動方向に沿って順に、第1加熱帯1、第2加熱帯2、第3加熱帯3および第4加熱帯4に区画され、具体的には、第1加熱帯1および第4加熱帯4が輻射加熱帯であり、第2加熱帯2および第3加熱帯3が誘導加熱帯である。

20

【0022】

本発明の実施例において、ガス加熱または電気加熱による第1輻射加熱機構5が設けられた第1加熱帯1は、鋼帯10を、200から目標キュリー温度-100までの温度範囲に加熱することが可能である。ここで、第1加熱帯1の出口板温の選択は、主に焼鈍炉の安全性と経済性を考慮し、完成品の品質要求を両立させる。

30

【0023】

第1誘導コイルによる第1誘導加熱機構が設けられた第2加熱帯2は、鋼帯10を、300から前記目標キュリー温度-50までの温度範囲に加熱することが可能である。ここで、第2加熱帯2の出口板温の選択は、主に完成品の磁気特性の要求を考慮し、誘導加熱の利用効率を両立させる。

【0024】

第2誘導コイルによる第2誘導加熱機構が設けられた第3加熱帯3は、鋼帯10を前記目標キュリー温度-30から前記目標キュリー温度-3までの温度範囲に加熱することが可能である。ここで、第3加熱帯3の出口板温が目標キュリー温度に近いほど、鋼帯10の幅方向への温度均一性が良くなるとともに、誘導加熱装置の利用効率も高くなる。一方、鋼帯10が目標キュリー温度に到達または接近すると、磁気変態が起こり、鋼帯10の透磁率が急激に低下し、鋼帯10の加熱効率も急速に低下し、このときに誘導加熱装置の電圧変動が大きく、鋼帯10の長手方向の温度均一性および誘導加熱装置の安定した運転に影響を及ぼす。

40

【0025】

ガス加熱または電気加熱による第2輻射加熱機構6が設けられ第4加熱帯4は、鋼帯10を、目標キュリー温度よりも高い温度に加熱することが可能で、これにより鋼帯10に対する加熱過程が完了する。

【0026】

本発明の実施例において、第1加熱帯1と第2加熱帯2との間に少なくとも1つの異な

50

る波長の第1板温度計が設けられ、第2加熱帯2と第3加熱帯3との間に少なくとも1つの異なる波長の第2板温度計が設けられ、第3加熱帯3と第4加熱帯4との間に少なくとも1つの異なる波長の第3板温度計が設けられ、各加熱帯の出口板温を正確に測定できる。本発明の実施例において、第1板温度計、第2板温度計および第3板温度計はいずれも赤外線温度センサを用いることができ、その動作原理は非接触で鋼帯10の表面温度の表面温度を測定することである。多波長の使用は、可変の放射率、光の干渉、温度較正を補償することができるため、低温で観測する時や、蒸気を含む雰囲気では温度の計測精度をより向上させる。

【0027】

具体的には、第1加熱帯1と第2加熱帯2との間に少なくとも1つの第1板温度計が設けられ、第1加熱帯1の出口板温を検出するために用いられる。

10

【0028】

第2加熱帯2と第3加熱帯3との間に少なくとも1つの第2板温度計が設けられ、当該位置の鋼帯10の実際の板温を検出するために用いられる。この位置は、第1加熱帯1および第4加熱帯4における輻射管の動作状態の影響を受けることなく、測定の環境が良好であるが、当該位置の板温が通常700未満であるため、鋼帯10の輻射率が鋼帯10の表面状態の影響を受けやすく、多波長の板温度計により測定精度を向上することができる。

【0029】

第3加熱帯3と第4加熱帯4との間に少なくとも1つの第3板温度計が設けられ、当該位置の鋼帯10の実際の板温を検出するために用いられる。この位置の板温度計は、第4加熱帯4における輻射管の影響を受けやすく、かつ第3加熱帯3の出口板温が通常750

20

以下となり、鋼帯10の輻射率も鋼帯10の表面状態の影響を受けやすいため、好適な多波長の板温度計により測定精度を向上できるが、第3加熱帯3の出口縦／横方向の板温制御的重要性を考慮すると、通常、該測定精度は、そのまま板温フィードバック制御に使用できない。

【0030】

本発明の実施例において、図2に示すように、第1誘導加熱機構の構造概略図であり、第1誘導加熱機構は、順次接続された第1整流器7と、第1インバータ8と、第1誘導コイルとを含む第1発振回路9を備え、第1整流器7によってトランジスタからなる第1インバータ8に第1直流電力を供給し、第1インバータ8によって第1発振回路に第1高周波電流を供給する。第2誘導加熱機構は、第1誘導加熱機構と類似に、順次接続された第2整流器、第2インバータ、および第2誘導コイルを含む第2発振回路を備え、第2整流器によってトランジスタからなる第2インバータに第2直流電力を供給し、第2インバータによって第2発振回路に第2高周波電流を供給する。

30

【0031】

誘導加熱機構の励磁電流周波数は、誘導電流の浸透深さに重要な影響を与え、励磁電流周波数が低いほど、誘導電流の浸透深さが深くなる。鋼帯10の厚さが浸透深さの2.5倍未満であると、電流が大きく損なわれ、加熱の低コスト化が困難になる。これにより、第1誘導加熱機構と第2誘導加熱機構の電流周波数が100kHz未満であると、誘導電流の浸透深さが深く、鋼帯10の表面温度の昇温速度が遅く、薄鋼帯10のプロセス要求を満たすことが困難である。電流周波数が1000kHzを超えると、誘導加熱機構の製造コストが著しく増加し、この問題を解決するために、本発明の実施例において、第1誘導加熱機構と第2誘導加熱機構の電流周波数の範囲を100～1000kHzとする。電流周波数の範囲は、300～700kHzであることが好ましく、極薄仕様、例えば厚さが0.15mmである方向性ケイ素鋼の急速加熱要求を満足しつつ、誘導加熱機構の製造コストを合理的なレベルに制御することもできる。

40

【0032】

さらに、本発明は、上記本発明の実施例に係る冷間圧延鋼帯10の急速加熱装置を用いて被加熱鋼帯10を加熱する冷間圧延鋼帯10の急速加熱方法を提供する。

50

【0033】

本発明の実施例において、第1加熱帯1の出口板温の選択は、主に焼鈍炉の安全性と経済性を考慮し、完成品の品質要求を両立させる。第1加熱帯1出口の第1目標板温 T_1 を400未満とすると、第1加熱帯1内の炉温が通常750未満であり、高水素保護雰囲気に対して、焼鈍炉に安全面の懸念がある。第1加熱帯1出口の第1目標板温 T_1 が550を超えると、誘導加熱装置の運転経済性が低下するため、第1加熱帯1の第1目標板温 T_1 を400~550とする。また、400以下で第1輻射加熱機構5を使用すると、その加熱効率が高く鋼帶10の幅方向への温度均一性が良く、均熱ゾーンの排気熱を利用して運転のエネルギー消費をさらに低減できる。

【0034】

10

本発明の実施例において、第3加熱帯3の昇温速度に基づいて第2加熱帯2出口の第2目標板温を設定する。第3加熱帯3の昇温速度は、完成品の磁気特性の点から、50~150/sが好ましい。第3加熱帯3の昇温速度を決定した後、式： $T_2 = T_3 - V_2 / V_1 \times L_2$ に基づいて第2加熱帯2の第2目標板温 T_2 を確定することができ、ここで、 T_3 は第3加熱帯3の出口板温、 L_2 (m)は第2誘導加熱機構の誘導コイルの長さであり、 V_1 (m/s)は鋼帶10の移動速度、 V_2 (/s)は第3加熱帯3の昇温速度である。

【0035】

20

本発明の実施例において、第2加熱帯2の電力制御方法としては、具体的に、第2目標板温 T_2 と第2板温度計の検出値との比較結果に基づき、第2加熱帯2の加熱電力を調整する。具体的には、制御プログラムに第2目標板温の設定値 T_{2A} を設定し、第2板温度計検出値を第2目標板温の設定値 T_{2A} と比較し、第2加熱帯2の出口板温を第2目標板温の設定値 T_{2A} に近づけるように誘導加熱電力を動的に調整し、さらに第2加熱帯2の出口板温の安定化制御を達成し、 T_2 と T_{2A} の差に応じて誘導加熱装置の運転電圧と運転電流を動的に調整してもよい。

【0036】

本発明の実施例において、第3加熱帯3の電力制御方法としては、第3加熱帯3の初期電力と第3加熱帯3出口の第3目標板温を設定し、第3目標板温と第3板温度計の検出値との比較結果に基づき、初期電力に応じて前記第3加熱帯3の加熱電力を調整する。

【0037】

30

具体的には、初期電力 P_{20} の計算式は以下のとおりである。

【数1】

$$P_{20} = f(\rho, E, R, \theta, W, V_1, \Delta T)$$

【0038】

ここで、鋼帶10の特性パラメータとして、 ρ は鋼帶10の密度、 E は鋼帶10の比エネルギー、 R は鋼帶10の抵抗率である。鋼帶10の寸法パラメータとして、 θ は鋼帶10の厚さ、 W は鋼帶10の幅である。プロセスパラメータとして、 V_1 は鋼帶10の移動速度、 ΔT は設定温度差である。初期電力 P_{20} の計算式は、理論式であり、実際の生産過程において、出口板温と鋼帶10の特性パラメータ、鋼帶10の寸法パラメータ、プロセスパラメータのフィッティングにより得られる。

40

【0039】

材質が同じである鋼帶10については、初期電力 P_{20} の計算式は以下のとおりに簡略化できる。

【数2】

$$P_{20} = K_1 \cdot f(\theta, W, V_1, \Delta T)$$

50

【 0 0 4 0 】

ここで、K₁は材料特性に関する定数である。実際の生産において、異なる鋼帯10の特性に応じて異なるK₁値を与えることができる。

【 0 0 4 1 】

制御プログラムにおいて、第3加熱帯3出口の第3目標板温の設定値T_{3A}を設定し、第3板温度計の検出値を第3目標板温の設定値T_{3A}と比較し、第3加熱帯3の出口板温を第3目標板温の設定値T_{3A}に近づけるように誘導加熱電力を動的に調整できる。以上から、この設定方法は、初期電力に加えて、第3目標板温の設定値T_{3A}に基づく動的補償モジュールを追加することに相当することができる。この動的補償モジュールの温度制御を容易にするためには、板温をリアルタイムに把握する必要があるため、第3加熱帯3と第4加熱帯4との間に少なくとも2つの第3板温度計を設け、少なくとも1つの第3板温度計を板温補償に用い、少なくとも1つの第3板温度計を板温モニタリングに用いることができる。

10

【 0 0 4 2 】

発明の別の実施例において、前記第3加熱帯3の電力制御方法はさらに以下のとおりであってもよい。第3加熱帯3の目標インピーダンスを設定し、目標インピーダンスと第3加熱帯3の動作インピーダンスとの比較結果に基づき、第3加熱帯3の加熱電力を調整する。具体的には、第3加熱帯3における第2誘導加熱機構の動作インピーダンスZ₂=U₂/I₂をトレースする。ここで、U₂は第2誘導加熱機構の運転電圧、I₂は第2誘導加熱機構の運転電流である。鋼帯10がキュリー温度T_cに到達または近接すると、磁気変態が起こり、鋼帯10のインピーダンスが変化するため、この物理特性を利用し、鋼帯10のインピーダンスの制御によりさらに出口板温を安定させる。制御プログラムに第2誘導加熱機構の目標インピーダンスZ_{2A}を設定し、動作インピーダンスZ₂を目標インピーダンスZ_{2A}と比較し、動作インピーダンスZ₂を目標インピーダンスZ_{2A}に近づけるように誘導加熱電力を動的に調整し、すなわち初期電力に加えて、目標インピーダンスZ_{2A}に基づく動的補償モジュールを追加する。実際の生産過程において、目標インピーダンスZ_{2A}は、誘導加熱理論とプロセス要求とにより総合的に決定され、鋼帯10幅の影響も考慮する必要がある。

20

【 実施例 】**【 0 0 4 3 】**

30

以下、いくつかの実施例を結合して本発明の実施例の効果を具体的に説明する。

【 0 0 4 4 】**実施形態1**

重量%で、化学元素の含有量がC:0.035~0.120%、Si:2.9~4.5%、Mn:0.05~0.20%、P:0.005~0.050%、S:0.005~0.012%、Als:0.015~0.035%、N:0.001~0.010%、Cr:0.05~0.30%、Sn:0.005~0.200%、V:0.0100%、Ti:0.0100%である鋼板スラブは、以下の工程により製造される。鋼板スラブを1150で加熱した後に厚さ2.3mmに熱間圧延した熱間圧延鋼板とする工程、正常化焼鈍工程、冷間圧延の厚さを0.29mmとする目標厚さに冷間圧延する工程、圧延油および鉄分を除去するように冷間圧延鋼帶の表面を洗浄する工程、連続脱炭焼鈍ラインがそれぞれ従来の輻射管、中国特許(CN101652485A)および本発明の実施例の焼鈍設備を使用して脱炭焼鈍を行う工程、窒化処理工程、鋼板上にMgOコーティングを施してから雰囲気が100%H₂、温度が1200の条件で20時間の高温焼鈍を行う工程、絶縁コーティングの塗布および加熱延伸平坦化焼鈍を行ってから方向性ケイ素鋼完成品を得る工程。

40

【 0 0 4 5 】

異なる試験条件での連続脱炭焼鈍ラインの鋼1トン当たりのエネルギー消費と鋼帯の脱炭効果を測定し、表1を作成できる。なかでも、比較例1~2は、従来輻射管の試験データに対応し、比較例3~5は、中国特許(CN101652485A)の試験データに対

50

応し、実施例 1 ~ 5 は、本発明の実施例の試験データに対応する。

【 0 0 4 6 】

【表 1】

【表 1】異なる試験条件での試験データの対比表

	ライン速度 (m/min)	第1加熱帯の 出口板温 T 1 (°C)	脱炭後の 炭素含有量 (ppm)	鋼 1 トン当たりの エネルギー消費の低減率 (%)
比較例1	90	—	30未満	基準エネルギー消費
比較例2	95	—	48	4.7%低減
比較例3	90	600	30未満	4.0%低減
比較例4	90	550	41	4.9%低減
比較例5	95	600	33	8.2%低減
実施例1	90	550	30未満	4.7%低減
実施例2	90	500	30未満	6.1%低減
実施例3	90	400	30未満	7.6%低減
実施例4	95	520	30未満	10.6%低減
実施例5	98	540	30未満	12.5%低減

10

20

30

【 0 0 4 7 】

表 1 によれば、比較例 1 の鋼 1 トン当たりのエネルギー消費を基準としてエネルギー消費の比較を行うことができる。比較例 1 と比較例 2 では、いずれも従来の輻射管加熱方式を使用した。比較例 1 では、ライン速度が 90 m / min であり、基準エネルギー消費とした。比較例 2 では、ライン速度が 95 m / min に向上し、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が 4.7% 低減したが、脱炭効果が不良であり、脱炭後の炭素含有量が 48 ppm であった。

【 0 0 4 8 】

比較例 3 ~ 比較例 5 では、いずれも中国特許 (CN 101652485 A) に開示された三段式加熱方式を使用した。比較例 3 では、ライン速度が 90 m / min であり、その第 1 加熱帯の出口板温 T 1 が 600 であり、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が 4.0 % 低減した。比較例 4 では、ライン速度が 90 m / min であり、その第 1 加熱帯の出口板温 T 1 が 550 であり、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が 4.9 % 低減したが、急速昇温の開始温度が低すぎるため、1台の誘導加熱装置の作動能力に制約され、急速昇温完了温度が低くなり、ひいては脱炭効果が不良であり、脱炭後の炭素含有量が 41 ppm であった。比較例 5 では、ライン速度が 95 m / min であり、その第 1 加熱帯の出口板温が 600 であり、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が 8.2 % 低減し、同様に 1 台の誘導加熱装置の能力に制約され、脱炭後の炭素含有量が 33 ppm と相対的に高くなつた。

【 0 0 4 9 】

実施例 1 ~ 実施例 3 では、ライン速度がいずれも 90 m / min であり、その第 1 加熱

40

50

帶の出口板温がそれぞれ 550、500 および 400 となり、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費がそれぞれ 4.7%、6.1% および 7.6% 低減し、脱炭後の炭素含有量が 30 ppm 未満の要求を満たしている。実施例 4 では、ライン速度が 95 m / min であり、その第 1 加熱帶の出口板温が 520 となり、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が 10.6% 低減した。実施例 5 では、ライン速度が 98 m / min であり、急速昇温の開始温度が 540 であり、鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が 12.1% 低減し、比較例 9 と比較例 10 では、脱炭後の炭素含有量がいずれもプロセス要求を満たしている。以上から、同条件では、発明例態様の鋼 1 トン当たりのエネルギー消費が著しく低下していることが分かる。

【0050】

実施形態 2

本実施形態 2 では、実施形態 1 と同様の製造工程を採用し、冷間圧延の厚さが 0.29 mm であった。連続脱炭焼鈍ラインは、本発明の実施例に係る冷間圧延鋼帶の急速加熱装置を使用し、連続脱炭焼鈍ライン速度が 90 m / min であった。第 1 加熱帶と第 2 加熱帶との間に 1 つの多波長の第 1 板温度計が設けられ、第 2 加熱帶と第 3 加熱帶との間に 1 つの多波長の第 2 板温度計が設けられ、第 3 加熱帶と第 4 加熱帶との間に 2 つの多波長の第 3 板温度計が設けられた。ここで、表 2 では異なる誘導加熱電力制御方式での板温状況を統計した。

【0051】

【表 2】

10

20

[表 2] 異なる誘導加熱電力制御方式での板温状況統計表

	第 1 加熱帶 の出口板温 の平均値 (°C)	第 1 加熱帶 の出口板温 の平均二乗 誤差 (°C)	第 2 加熱帶 の出口板温 の平均値 (°C)	第 2 加熱帶 の出口板温 の平均二乗 誤差 (°C)	第 3 加熱帶 の出口板温 の平均値 (°C)	第 3 加熱帶 の出口板温 の平均二乗 誤差 (°C)	表面欠陥 の発生率 (%)
比較例6	500.1	5.5	585.8	6.8	719.3	5.1	6.0%
実施例6	500.3	5.1	585.0	0.08	729.8	1.3	1.5%
実施例7	500.5	5.7	585.0	0.08	730.5	1.0	0.5% 未満
実施例8	499.8	5.8	585.0	0.08	733.1	0.6	0.5% 未満

30

【0052】

なかでも、比較例 6 では、第 1 誘導加熱機構と第 2 誘導加熱機構がいずれも初期電力モードを採用し、その第 1 誘導加熱機構の初期電力が 150 kW であり、第 2 誘導加熱機構の初期電力が 430 kW であった。第 1 加熱帶の出口板温の平均値が 500.1 であり、平均二乗誤差が 5.5 であった。第 2 加熱帶の出口板温の平均値が 585.8 であり、平均二乗誤差が 6.8 であった。第 3 加熱帶の出口板温の平均値が 719.3 であり、板温平均二乗誤差が 5.1 であり、完成品の表面欠陥の発生率が 6.0 % であった。

40

【0053】

実施例 6 では、第 1 誘導加熱機構が板温フィードバック電力制御モードを採用し、第 2 誘導加熱機構が初期電力モードを採用した。第 1 加熱帶の出口板温の平均値が 500.3 であり、平均二乗誤差が 5.1 であり、比較例 6 と大体同じであった。比較例 6 に比べて、第 2 加熱帶では板温フィードバック制御を採用しているため、その出口板温の平均二乗誤差は 0.08 に縮小した。第 2 加熱帶の出口板温の安定性が向上するため、第 2 誘導加熱機構の初期電力を増加することにより、第 3 加熱帶の出口板温の変動も小さくな

50

り、出口板温の平均値が 729.8 であり、平均二乗誤差が 1.3 であり、出口板温の平均値が鋼帯の目標キュリー温度により近く、完成品の表面欠陥の発生率が 1.5 % に低減した。

【 0054 】

実施例 7 では、第 1 誘導加熱機構が板温フィードバック電力制御方式を採用し、第 2 誘導加熱機構が板温補償電力制御方式を採用し、第 3 加熱帯と第 4 加熱帯との間の 1 つの第 3 板温度計が板温補償に用いられ、もう 1 つの第 3 板温度計用于板温モニタリングに用い、第 3 目標板温の設定値 T_{3A} が 733 に設定された。実施例 6 に比べて、第 3 加熱帯の出口板温の変動がさらに減縮され、モニタリング用板温度計では第 3 加熱帯の出口板温の平均値が 730.5 であることが示され、平均二乗誤差が 1.0 であり、完成品の表面欠陥の発生率が 0.5 % 未満に低減した。10

【 0055 】

実施例 8 では、第 1 誘導加熱機構が板温フィードバック電力制御方式を採用し、第 2 誘導加熱機構がインピーダンス補償電力制御方式を採用し、目標インピーダンス Z_{2A} が 1.6 に設定された。実施例 7 と類似に、第 3 加熱帯の出口板温の制御精度は高く、出口板温の平均値が 733.1 であり、平均二乗誤差が 0.6 であり、完成品の表面欠陥の発生率が 0.5 % 未満に低減した。

【 0056 】

以上より、実施例 6 ~ 実施例 8 では、第 2 加熱帯の出口板温と第 3 加熱帯の出口板温の制御精度が、比較例 6 に比べて著しく向上し、完成品の表面欠陥の発生率も著しく低減していることが分かる。20

【 0057 】

実施形態 3

本実施形態 3 は、実施形態 1 と同様の製造工程を採用するが、第 2 加熱帯および第 3 加熱帯の制御方式を変更したものである。ここで、比較例 7 と比較例 8 では、従来の輻射管加熱方式を採用し、比較例 9 ~ 比較例 11 では、いずれも中国特許（CN101652485A）の焼鈍設備の加熱方式を採用した。実施例 9 ~ 比較例 13 では、本発明の実施例に係る冷間圧延鋼帯の急速加熱装置により加熱し、第 1 誘導加熱機構を設置し、板温フィードバック電力制御方式を採用し、第 2 誘導加熱機構がインピーダンス補償電力制御方式を採用した。上記試験の試験データを採取することにより、表 3 を得た。30

【 0058 】

10

20

30

40

50

【表3】

[表3] 異なる試験条件及び加熱電力制御方式での試験データの対比表

	冷間 圧延 の 厚さ (mm)	ライン 速度 (m/min)	第1加熱 帶の出口 板温(°C)	第2加熱 帶の出口 板温(°C)	第3加熱 帶の出口 板温(°C)	脱炭後 の炭素 含有量 (ppm)	磁気 誘導 B_8 (T)	鉄損 $P_{15/50}$ (W/kg)	表面 欠陥の 発生率 (%)
比較例7	0.29	90	—	—	—	30未満	1.916	0.974	6.0%
比較例8	0.29	95	—	—	—	48	1.865	1.123	10.5%
比較例9	0.29	90	590～610	723～733	—	30未満	1.918	0.968	1.5%
比較例10	0.29	95	610～630	725～735	—	39	1.905	0.996	2.4%
比較例11	0.35	80	640～660	716～728	—	43	1.884	1.123	3.7%
実施例9	0.22	110	530～550	599～601	730～736	30未満	1.932	0.837	0.5%未満
実施例10	0.29	90	490～510	599～601	730～736	30未満	1.935	0.942	0.5%未満
実施例11	0.29	95	510～530	609～611	730～736	30未満	1.938	0.947	0.5%未満
実施例12	0.29	98	530～540	619～621	730～736	30未満	1.928	0.953	0.5%未満
実施例13	0.35	80	570～590	659～661	727～733	30未満	1.927	1.097	0.5%未満

【0059】

表3より分かるように、比較例7では、冷間圧延の厚さが0.29mmであり、ライン速度が90m/minであり、脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.916Tであり、鉄損P15/50が0.974W/Kgであり、表面欠陥の発生率が6.0%であった。比較例8では、ライン速度が95m/minであり、ライン速度を上げたことで脱炭時間が減少し、脱炭効果が不良であった。また、脱炭後の炭素含有量が48ppmであり、得られた完成品の磁気誘導B8が1.865T、鉄損P15/50が1.123W/Kg、表面欠陥の発生率が10.5%であった。

【0060】

比較例9では、冷間圧延の厚さが0.29mmであり、ライン速度が90m/minであり、第1加熱帶の出口板温が590～610の間となり、第2加熱帶の出口板温が723～733の間となり、冷間圧延鋼板脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.918Tであり、鉄損P15/50が0.968W/Kgであり、表面欠陥の発生率が1.5%であった。比較例10では、冷間圧延の厚さが0.29mmであり、ライン速度が95m/minであり、第1加熱帶の出口板温が610～630の間となり、第2加熱帶の出口板温が725～735の間となり、冷間圧延鋼板脱炭後の炭素含有量が39ppmであり、得られた完成品の磁気誘導B8が1.905Tであり、鉄損P15/50が0.996W/Kgであり、表面欠陥の発生率が2.4%であった。比較例11では、冷間圧延の厚さが0.35mmであり、ライン速度が80m/minであり、第1加熱帶の出口板温が640～660の間となり、第2加熱帶の出口板温が716～728の間となり、脱炭後の炭素含有量が43ppmであり、得られた完成品の磁気誘導B8が1.884T、鉄損P15/50が1.123W/Kg、表面欠陥の発生率が3.7%であった。

10

20

30

40

50

3 ppmであり、得られた完成品の磁気誘導B8が1.884Tであり、鉄損P15/50が1.123W/Kgであり、表面欠陥の発生率が3.7%であった。

【0061】

実施例9では、冷間圧延の厚さが0.22mmであり、ライン速度が110m/minであり、第1加熱帯の出口板温が530~550となり、第2加熱帯の出口板温を599~601に制御し、第3加熱帯の出口板温が730~736となり、脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.932Tであり、鉄損P15/50が0.837W/Kgであり、表面欠陥の発生率が0.5%未満であった。

【0062】

実施例10では、冷間圧延の厚さが0.29mmであり、ライン速度が90m/minであり、第1加熱帯の出口板温が490~510となり、第2加熱帯の出口板温を599~601に制御し、第3加熱帯の出口板温が730~736となり、脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.935Tであり、鉄損P15/50が0.942W/Kgであり、表面欠陥の発生率が0.5%未満であった。

【0063】

実施例11では、実施例10に比べて、ライン速度が95m/minに向上し、第1加熱帯の出口板温が510~530となり、第2加熱帯の出口板温を609~611に制御し、第3加熱帯の出口板温が730~736となり、脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.938Tであり、鉄損P15/50が0.947W/Kgであり、表面欠陥の発生率が0.5%未満であった。

【0064】

実施例12では、実施例11に比べて、ライン速度がさらに98m/minに向上し、第1加熱帯の出口板温が530~550となり、第2加熱帯の出口板温を619~621に制御し、第3加熱帯の出口板温が730~736となり、脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.928Tであり、鉄損P15/50が0.953W/Kgであり、表面欠陥の発生率が0.5%未満であった。

【0065】

実施例13では、冷間圧延の厚さが0.35mmであり、ライン速度が80m/minであり、第1加熱帯の出口板温が570~590となり、第2加熱帯の出口板温を659~661に制御し、第3加熱帯の出口板温が727~733となり、脱炭後の炭素含有量が30ppm未満のプロセス要求を満たし、得られた完成品の磁気誘導B8が1.927Tであり、鉄損P15/50が1.097W/Kgであり、表面欠陥の発生率が0.5%未満であった。

【0066】

以上から、本発明の実施例のプロセスの設置は、従来技術に比べて柔軟であり、完成品の磁気特性に優れ、表面欠陥の発生率が低く、かつ、ライン速度をさらに向上させることができ、生産効率を向上させることができる。

【0067】

以上説明したように、本発明の実施例で提供された冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法では、高周波誘導加熱の昇温速度が速いという特徴を十分に利用することができ、板温分割制御方式を採用し、加熱の管理制度を厳しく実行させることで、鋼帯の表面状態の変動と加熱運転動作の変動の影響を効果的に克服することができ、板温の制御精度が高く、完成品の磁気性能と表面品質により優れている。また、本発明の実施例では、各加熱段の目標板温を非常に簡便に選択でき、分割式加熱速度で昇温することで、プロセス設定の柔軟性および製品仕様への適合性を高めることもできる。また、本発明の実施例で提供された冷間圧延鋼帯の急速加熱装置および方法は、質量分率で、Si含有量が4.5%以下

10

20

30

40

50

である方向性ケイ素鋼による冷間圧延鋼帯の急速加熱に適用し、キュリー点を有する冷間圧延鋼帯、例えば質量分率が18%以下であるCr含有量を含有するフェライト系ステンレス鋼またはマルテンサイト系ステンレス鋼にも適用できる。

【0068】

以上の内容は、本発明の概略的な説明のみで、本発明の動作原理を逸脱しない限りに種々の改良が可能であり、本発明の技術的範囲に属することは当業者にとって明らかであるべきである。

10

20

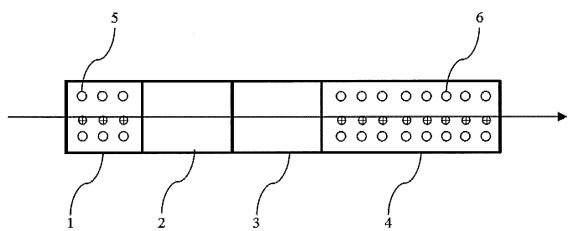
30

40

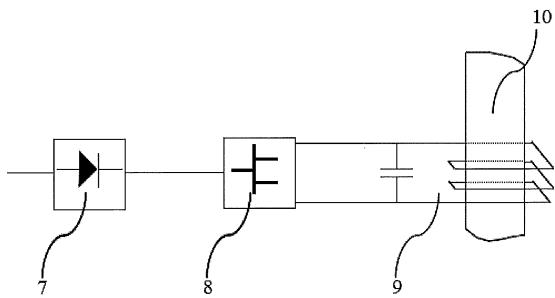
50

【図面】

【図1】



【図2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 當麻 博文
(74)代理人 100137729
弁理士 赤井 厚子
(74)代理人 100151301
弁理士 戸崎 富哉
(72)発明者 チャン、ファビン
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、フジン ロード 885
(72)発明者 リ、グオバオ
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、フジン ロード 885
(72)発明者 リウ、バオジュン
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、フジン ロード 885
(72)発明者 ハン、ダン
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、フジン ロード 885
(72)発明者 チャン、シンチャン
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、フジン ロード 885
(72)発明者 ツイ、グアンファ
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、フジン ロード 885
(72)発明者 チェン、ジェンピン
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、フジン ロード 885
(72)発明者 シャオ、ウェン
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、フジン ロード 885
(72)発明者 チャオ、ズペン
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、フジン ロード 885
審査官 鈴木 葉子
(56)参考文献 特開2009-221577 (JP, A)
特開2008-266727 (JP, A)
特開平06-124775 (JP, A)
国際公開第2015/174361 (WO, A1)
特開2015-181114 (JP, A)
特開2009-221578 (JP, A)
特開2008-255422 (JP, A)
中国特許出願公開第104775021 (CN, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C21D 9/52 - 9/66
C21D 8/12, 9/46