

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5028310号
(P5028310)

(45) 発行日 平成24年9月19日(2012.9.19)

(24) 登録日 平成24年6月29日(2012.6.29)

(51) Int.Cl.		F 1		
B 2 1 B 37/76	(2006.01)	B 2 1 B 37/00	1 3 2 B	
B 2 1 B 37/00	(2006.01)	B 2 1 B 37/00	B B L	
B 2 1 B 45/02	(2006.01)	B 2 1 B 45/02	3 2 O S	

請求項の数 9 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-74617 (P2008-74617)</p> <p>(22) 出願日 平成20年3月21日 (2008. 3. 21)</p> <p>(65) 公開番号 特開2009-226438 (P2009-226438A)</p> <p>(43) 公開日 平成21年10月8日 (2009. 10. 8)</p> <p>審査請求日 平成22年5月7日 (2010. 5. 7)</p>	<p>(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号</p> <p>(74) 代理人 100098017 弁理士 吉岡 宏嗣</p> <p>(72) 発明者 鹿山 昌宏 茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所 情報制御システム事業部内</p> <p>(72) 発明者 栗林 健 茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所 情報制御システム事業部内</p> <p>審査官 瀧澤 佳世</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 熱間圧延機のスタンド間冷却制御装置および制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のスタンド、前記スタンドの間での冷却水の注水により圧延中の鋼板を冷却できるようにされたスタンド間冷却装置、前記鋼板の入側における温度である仕上げ入側温度を計測する仕上げ入側温度計測手段、および前記鋼板の出側における温度である仕上げ出側温度を計測する仕上げ出側温度計測手段を備えた仕上げ圧延機における前記スタンド間冷却装置に対し、前記仕上げ出側温度を所望の目標温度に合せるように冷却水量を制御するスタンド間冷却制御装置において、

前記冷却水による冷却に関して前記仕上げ出側温度を推定する板温推定モデルを備え、前記鋼板が前記冷却水で冷却されるのに先立って前記板温推定モデルにより前記仕上げ出側温度を推定し、その推定仕上げ出側温度に基づいて前記スタンド間冷却装置の冷却水量を算出してプリセット制御出力を生成するプリセット制御手段、

前記仕上げ圧延機で圧延されつつ前記スタンド間冷却装置で冷却されている前記鋼板についての鋼板速度と仕上げ出側温度と仕上げ入側温度を状態量として取得し、その取得された状態量に基づいて前記冷却水量の変更量を算出してダイナミック制御出力を生成するダイナミック制御手段、および

前記プリセット制御出力と前記ダイナミック制御出力からスタンド間冷却指令を生成して前記スタンド間冷却装置に出力するスタンド間冷却指令生成手段を備え、

前記ダイナミック制御手段は、

前記仕上げ入側温度に関して前記プリセット制御出力の生成時に想定された想定仕上げ

入側温度と圧延中に実測して得られる実測仕上げ入側温度の偏差の前記仕上げ出側温度への影響を抑制する前記冷却水量の変更量を生成して出力する仕上げ入側温度偏差補正手段

前記プリセット制御出力の生成時に想定された想定鋼板速度と圧延中に実測して得られる実測鋼板速度の偏差の前記仕上げ出側温度への影響を抑制する前記冷却水量の変更量を生成して出力する速度偏差補正手段、

前記目標温度と圧延中に実測して得られる実測仕上げ出側温度の偏差を小さくするための前記冷却水量の変更量を生成して出力する仕上げ出側温度偏差補正手段、および

前記仕上げ入側温度偏差補正手段、前記速度偏差補正手段、前記仕上げ出側温度偏差補正手段それぞれの出力を選択的に用いて前記ダイナミック制御出力を生成するダイナミック制御出力生成手段を備えていることを特徴とするスタンド間冷却制御装置。

10

【請求項 2】

前記ダイナミック制御手段は、前記冷却水量の変化が前記仕上げ出側温度に及ぼす影響を格納した第 1 の影響係数テーブル、前記仕上げ入側温度の変化が前記仕上げ出側温度に及ぼす影響を格納した第 2 の影響係数テーブル、および前記仕上げ圧延機の出側での前記鋼板の速度の変化が前記仕上げ出側温度に及ぼす影響を格納した第 3 の影響係数テーブルを含む影響係数テーブルをさらに備え、前記仕上げ入側温度偏差補正手段、前記速度偏差補正手段、前記仕上げ出側温度偏差補正手段それぞれが前記冷却水量の変更量の生成処理で用いる影響係数を前記影響係数テーブルから取り込めるようにされていることを特徴とする請求項 1 に記載のスタンド間冷却制御装置。

20

【請求項 3】

前記ダイナミック制御手段は、前記仕上げ入側温度偏差補正手段の出力を所定のタイミングで保持し、それ以後は一定に保たれるロックオン値とすることができるようになされ、そして前記保持のタイミングは、前記仕上げ入側温度偏差補正手段における前記変更量生成についての最初の演算に対応した出力がなされた時点とするか、または前記仕上げ出側温度の検出が開始された時点とするようにされていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のスタンド間冷却制御装置。

【請求項 4】

前記ダイナミック制御出力生成手段は、圧延中の前記鋼板の位置情報に基づいて前記仕上げ入側温度偏差補正手段、前記速度偏差補正手段、前記仕上げ出側温度偏差補正手段それぞれの出力の選択的使用を行うようにされ、そして前記鋼板について前記仕上げ出側温度が検出された後、当該鋼板が前記仕上げ圧延機に進入しているものの前記仕上げ出側温度の検出には至らない状態では、前記仕上げ入側温度偏差補正手段と前記速度偏差補正手段それぞれの出力を加算した値を出力し、前記仕上げ出側温度の最初の検出から前記鋼板が前記仕上げ圧延機を抜けるまでの状態では、前記仕上げ入側温度偏差補正手段の出力またはその前記ロックオン値、前記速度偏差補正手段の出力、前記仕上げ出側温度偏差補正手段の出力それぞれを加算した値を出力するようにされていることを特徴とする請求項 3 に記載のスタンド間冷却制御装置。

30

【請求項 5】

前記仕上げ出側温度偏差補正手段でなされる前記冷却水量の変更量の生成計算で用いるゲインが複数用意されており、その複数のゲインから前記鋼板速度に応じて選択できるようにされていることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載のスタンド間冷却制御装置。

40

【請求項 6】

前記ダイナミック制御手段による制御の実績から前記板温推定モデルのモデル誤差を推定し、そのモデル誤差推定結果を前記プリセット制御手段での前記板温推定モデルによる前記仕上げ出側温度推定に反映させることができるようにされていることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか 1 項に記載のスタンド間冷却制御装置。

【請求項 7】

前記仕上げ圧延機から尾端抜けと判定された鋼板の複数の部位について検出または算出

50

された、前記目標温度と前記実測仕上げ出側温度の偏差、前記想定仕上げ入側温度と前記実測仕上げ入側温度の偏差、前記想定鋼板速度と前記実測鋼板速度の偏差、前記仕上げ出側温度偏差補正手段の出力、仕上げ入側温度偏差補正手段の出力の前記ロックオン値、および前記速度偏差補正手段の出力に基づいて適応制御量を求める適応制御量算出手段を備えるとともに、前記目標温度を前記適応制御量算出手段による前記適応制御量で補正することで仕上げ出側温度予測用目標温度を求める適応制御手段を備え、そして前記適応制御手段で求めた前記仕上げ出側温度予測用目標温度を前記板温推定モデルによる前記仕上げ出側温度の推定に際して用いるようにされていることを特徴とする請求項6に記載のスタンド間冷却制御装置。

【請求項8】

複数のスタンド、前記スタンドの間での冷却水の注水により圧延中の鋼板を冷却できるようにされたスタンド間冷却装置、前記鋼板の入側における温度である仕上げ入側温度を計測する仕上げ入側温度計測手段、および前記鋼板の出側における温度である仕上げ出側温度を計測する仕上げ出側温度計測手段を備えた仕上げ圧延機における前記スタンド間冷却装置に対し、前記仕上げ出側温度を所望の目標温度に合わせるように冷却水量を制御するためのスタンド間冷却制御方法において、

プリセット制御とダイナミック制御を組み合わせた制御を行えるようにされ、前記プリセット制御は、前記冷却水による冷却に関して前記仕上げ出側温度を推定する板温推定モデルにより前記仕上げ出側温度を前記鋼板が前記冷却水で冷却されるのに先立って推定し、その推定仕上げ出側温度に基づいて前記スタンド間冷却装置の冷却水量を算出して得られるプリセット制御出力によりなすようにされ、前記ダイナミック制御は、前記仕上げ圧延機で圧延されつつ前記スタンド間冷却装置で冷却されている前記鋼板についての鋼板速度と仕上げ出側温度と仕上げ入側温度を状態量として取得し、その取得された状態量に基づいて前記冷却水量の変更量を算出して得られるダイナミック制御出力によりなすようにされ

前記ダイナミック制御出力は、前記仕上げ入側温度に関して前記プリセット制御出力の生成時に想定された想定仕上げ入側温度と圧延中に実測して得られる実測仕上げ入側温度の偏差の前記仕上げ出側温度への影響を抑制する前記冷却水量の変更量についての制御出力である仕上げ入側温度偏差補正出力を含んでおり、そして前記仕上げ入側温度偏差補正出力を所定のタイミングで保持し、それ以後は一定に保たれるロックオン値とすることが

【請求項9】

前記保持のタイミングは、前記仕上げ入側温度偏差補正出力についての最初の演算に対応した出力がなされた時点とするか、または前記仕上げ出側温度の検出が開始された時点とするようにされていることを特徴とする請求項8に記載のスタンド間冷却制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱間圧延における仕上げ圧延機の出側での鋼板の温度を所定の目標温度に整えるためにスタンド間での注水でなされるスタンド間冷却の制御に関する。

【背景技術】

【0002】

熱間圧延では、複数のスタンドを備えた仕上げ圧延機で鋼板の形状や寸法を整える仕上げ圧延を行う。そして仕上げ圧延機では、仕上げ出側温度（仕上げ圧延機の出側における鋼板の温度、以下では適宜にFDTと記す）を所定の目標温度に整えるための冷却を行う。その冷却は、仕上げ圧延機でスタンド間ごとに設けられているスタンド間冷却装置により圧延中の鋼板に冷却水を噴射状態で注水することでなすのが一般的である。このような冷却では、FDTを目標温度との関係で制御するについて冷却水の注水量を制御する必要があり、そのためのスタンド間冷却制御がなされる。具体的には、スタンド間冷却制御装置を設け、そのスタンド間冷却制御装置によりFDTなどに基づいてスタンド間冷却装置

10

20

30

40

50

の注水量を制御してF D Tを目標温度に合わせるようにする。

【0003】

スタンド間冷却制御については、例えば特許文献1～特許文献4に開示の例のような技術が知られている。特許文献1の「熱間仕上げ圧延機出側温度の制御方法」では、冷却開始前にあらかじめ設定したストリップクーラント装置の噴射数 n に対して、F D Tの測定結果にしたがってF D Tが目標温度になるように噴射数を n 変更して $(n + \Delta n)$ の噴射数で冷却制御をする。またこうした冷却制御について、鋼板速度の減少があらかじめ予想されるタイミングにおいては、 Δn が正のときは n を零として噴射数 n で冷却し、 Δn が負のときは $(n + \Delta n)$ の噴射数で冷却するようにしている。

【0004】

特許文献2の「熱延鋼板の製造方法」では、被圧延材の先端部をトラッキングし、被圧延材の先端部が最終スタンドに噛み込んだ後に冷却を開始することで、圧延時の温度制御を高精度化し、微細な粒径の熱延鋼板を得るようにしている。

【0005】

特許文献3の「熱延金属板の仕上げ出側温度の制御方法」では、圧延中の鋼板を長手方向に仮想的に分割し、分割後のセクションごとに、仕上げ入側温度と鋼板の搬送時間に基づいて、各セクションのF D Tが目標値になるような注水量と注水タイミングを算出するようにしている。

【0006】

特許文献4の「スタンド間注水の自動制御」では、仕上圧延機のスタンド間で注水を行って出側仕上温度を目標値にするについて、予め設定した温度モデルおよび部位ごとの実績パラメータに基づいて鋼板の仕上工程内における温度変化を算出し、その結果に基づいて注水制御を行うようにしている。

【0007】

【特許文献1】特開平10-43811号公報

【特許文献2】特開2006-159261号公報

【特許文献3】特開平10-94814号公報

【特許文献4】特開平7-75816号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

仕上げ圧延機におけるF D Tは、鋼板の品質や形状に影響を及ぼす。そのため、スタンド間冷却制御については、F D Tをできるだけ目標温度に合わせることができるよう、高い精度でなせるようにすることが望まれる。また、冷却水量の増減頻度をできる小さくした状態で高い精度での制御を行えるようにすることも望まれる。

【0009】

こうした観点において上述のような従来の制御技術は、必ずしも十分であるといえない。例えば特許文献1の制御技術は、実測したF D Tに基づくフィードバック制御だけで噴射数を変更することでF D Tを目標温度に合わせるようにしている。このためフィードバック制御の効果が反映されない鋼板先端部について温度精度(F D Tの目標温度に対する精度)の低下を避けられない。また特許文献1の制御技術は、冷却開始前に噴射数 n を決める計算で想定した仕上げ入側温度(仕上げ圧延機の入側における鋼板の温度、以下では適宜にF E Tと記す)と圧延中の実測F E Tが異なっていた場合への配慮がなされていない。このため想定F E Tと実測F E Tに差異がある場合、所定の影響係数にしたがって温度精度が悪化する可能性がある。さらに特許文献1の制御技術は、予めスケジュールされた鋼板速度の変化は冷却前の演算で考慮できるが、オペレータの手動操作による速度変化のような制御装置側で予測できない鋼板速度変化には対処できず、そのような速度変化を生じた場合に温度精度が悪化する可能性がある。

【0010】

特許文献2の制御技術は、鋼板先端部のトラッキングを行うので、鋼板先端部について

10

20

30

40

50

も制御の効果を反映させることができるものの、F E Tや鋼板速度の変動について十部な配慮がなされておらず、F E Tや鋼板速度が変化した場合に温度精度が低下する可能性がある。

【 0 0 1 1 】

特許文献3の制御技術は、仮想的分割のセクションごとに鋼板各部位の温度を個別に制御することから、仕上げスタンドに進入してくる時点で鋼板の長手方向に鋼板温度が低下し、さらにスキッドと呼ばれる周期的な温度外乱が重畳するコンベンショナルタンデム圧延では有効な方法といえるものの、いわゆるミニホットタンデム圧延には適さない。ミニホットタンデム圧延は、連続鑄造機で鑄造された直後の高温スラブを直接圧延するダイレクトチャージタイプであり、トンネルファーネスで一定温度に保持されたスラブを直接粗圧延し、その後仕上げ圧延を行う。このようなミニホットタンデム圧延の場合、鋼板長手方向の温度低下は大きくなり、スキッド温度外乱もない。したがって特許文献3の制御技術をミニホットタンデム圧延に適用した場合には、制御の構成が不必要に複雑になるだけでなく、セクションごとに冷却水量を変更する操作により、鋼板のF D Tに対応した温度変化が重畳する恐れがあり、そのことが後工程の巻取り温度制御の外乱になる恐れがあり、また冷却水量の増減頻度が徒に増えることにもなる。

10

【 0 0 1 2 】

特許文献4の制御技術は、予め設定した温度モデルや実績パラメータに基づいて鋼板の仕上工程内における温度変化を算出した結果に基づいて注水制御を行うだけであることから、実際のF E Tや鋼板速度の変化により温度精度が低下する可能性がある。本発明は、以上のような事情を背景になされてものであり、その課題は、より高い温度精度を実現でき、しかも冷却水量の増減頻度もより小さくて済むような制御を可能とするスタンド間冷却制御装置および制御方法の提供にある。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明では、上記課題を解決するために、複数のスタンド、前記スタンドの間での冷却水の注水により圧延中の鋼板を冷却できるようにされたスタンド間冷却装置、前記鋼板の入側における温度である仕上げ入側温度を計測する仕上げ入側温度計測手段、および前記鋼板の出側における温度である仕上げ出側温度を計測する仕上げ出側温度計測手段を備えた仕上げ圧延機における前記スタンド間冷却装置に対し、前記仕上げ出側温度を所望の目標温度に合わせるように冷却水量を制御するスタンド間冷却制御装置において、前記冷却水による冷却に関して前記仕上げ出側温度を推定する板温推定モデルを備え、前記鋼板が前記冷却水で冷却されるのに先立って前記板温推定モデルにより前記仕上げ出側温度を推定し、その推定仕上げ出側温度に基づいて前記スタンド間冷却装置の冷却水量を算出してプリセット制御出力を生成するプリセット制御手段、前記仕上げ圧延機で圧延されつつ前記スタンド間冷却装置で冷却されている前記鋼板について状態量を取得し、その取得された状態量に基づいて前記冷却水量の変更量を算出してダイナミック制御出力を生成するダイナミック制御手段、および前記プリセット制御出力と前記ダイナミック制御出力からスタンド間冷却指令を生成して前記スタンド間冷却装置に出力するスタンド間冷却指令生成手段を備えていることを特徴としている。

30

40

【 0 0 1 4 】

このようなスタンド間冷却制御装置は、板温推定モデルによる事前の予測に基づくプリセット制御と圧延中の鋼板についての状態量に基づくダイナミック制御を組み合わせるようたことにより、プリセット制御で不足する範囲をダイナミック制御で補うことができるとともに、プリセット制御によりダイナミック制御の負担を軽減できる。このために、例えば上記特許文献1、特許文献2、あるいは特許文献4の従来技術に比べ、より高い精度による制御が可能となり、しかも例えば上記特許文献3の従来技術に比べ、冷却水量の増減頻度を小さくすることが可能となる。

【 0 0 1 5 】

本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記ダイナミック制御手

50

段は、前記仕上げ入側温度に関して前記プリセット制御出力の生成時に想定された想定仕上げ入側温度と圧延中に実測して得られる実測仕上げ入側温度の偏差の前記仕上げ出側温度への影響を抑制する前記冷却水量の変更量を生成して出力する仕上げ入側温度偏差補正手段、前記プリセット制御出力の生成時に想定された想定鋼板速度と圧延中に実測して得られる実測鋼板速度の偏差の前記仕上げ出側温度への影響を抑制する前記冷却水量の変更量を生成して出力する速度偏差補正手段、前記目標温度と圧延中に実測して得られる実測仕上げ出側温度の偏差を小さくするための前記冷却水量の変更量を生成して出力する仕上げ出側温度偏差補正手段、および前記仕上げ入側温度偏差補正手段、前記速度偏差補正手段、前記仕上げ出側温度偏差補正手段それぞれの出力を選択的に用いて前記ダイナミック制御出力を生成するダイナミック制御出力生成手段を備えるようにすることを好ましい形態としている。このような形態によれば、仕上げ入側温度の偏差に関する補正と鋼板速度の偏差に関する補正をフィードフォワード制御として行なうことになるので、ダイナミック制御をより効果的なものとすることができる。

10

【0016】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記ダイナミック制御手段は、前記冷却水量の変化が前記仕上げ出側温度に及ぼす影響を格納した第1の影響係数テーブル、前記仕上げ入側温度の変化が前記仕上げ出側温度に及ぼす影響を格納した第2の影響係数テーブル、および前記仕上げ圧延機の出側での前記鋼板の速度の変化が前記仕上げ出側温度に及ぼす影響を格納した第3の影響係数テーブルを含む影響係数テーブルをさらに備え、前記仕上げ入側温度偏差補正手段、前記速度偏差補正手段、前記仕上げ出側温度偏差補正手段それぞれが前記冷却水量の変更量の生成処理で用いる影響係数を前記影響係数テーブルから取り込めるようにするのを好ましい形態としている。このような形態によれば、冷却水量の変更量生成処理をより効率的に行わせることができるようになる。

20

【0017】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記ダイナミック制御手段は、前記仕上げ入側温度偏差補正手段の出力を所定のタイミングで保持し、それ以後は一定に保たれるロックオン値とすることができるようにされ、そして前記保持のタイミングは、前記仕上げ入側温度偏差補正手段における前記変更量生成についての最初の演算に対応した出力がなされた時点とするか、または前記仕上げ出側温度の検出が開始された時点とするようにするのを好ましい形態としている。

30

【0018】

ダイレクトチャージタイプのミニホットタンデム圧延の場合であると、鋼板長手方向での仕上げ入側温度の変動が少なく、1本の鋼板に対する圧延が開始される時点ないしそれに近い時点までについてだけ仕上げ入側温度偏差補正手段による制御を行えば、その後はその制御出力を利用して制御の精度に実質的な影響がないといえる。本形態は、こうしたミニホットタンデム圧延の特性を前提にしたもので、仕上げ入側温度偏差補正手段の出力を固定のロックオン値とすることで、冷却水量の増減頻度をより小さくすることが可能となる。

【0019】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記ダイナミック制御出力生成手段は、圧延中の前記鋼板の位置情報に基づいて前記仕上げ入側温度偏差補正手段、前記速度偏差補正手段、前記仕上げ出側温度偏差補正手段それぞれの出力の選択的使用を行うようにされ、そして前記鋼板について前記仕上げ入側温度が検出された後、当該鋼板が前記仕上げ圧延機に進入しているものの前記仕上げ出側温度の検出には至らない状態では、前記仕上げ入側温度偏差補正手段と前記速度偏差補正手段それぞれの出力を加算した値を出力し、前記仕上げ出側温度の最初の検出から前記鋼板が前記仕上げ圧延機を抜けるまでの状態では、前記仕上げ入側温度偏差補正手段の出力またはその前記ロックオン値、前記速度偏差補正手段の出力、前記仕上げ出側温度偏差補正手段の出力それぞれを加算した値を出力するようにされていることを好ましい形態としている。このような形態

40

50

によれば、圧延状態に応じた制御とすることができ、精度の高い制御をより効率的に行えるようになる。

【 0 0 2 0 】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記仕上げ出側温度偏差補正手段でなされる前記冷却水量の変更量の生成計算で用いるゲインが複数用意されており、その複数のゲインから前記鋼板速度に応じて選択できるようにすることを好ましい形態としている。このような形態によれば、鋼板速度が加速中は相対的に小さなゲインで安定した制御を行い、鋼板速度が定常状態に到達して圧延が安定した後は、大きなゲインで応答性のよい制御を行うことができ、精度の高い制御をより効率的に行えるようになる。

10

【 0 0 2 1 】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記ダイナミック制御手段による制御の実績から前記板温推定モデルのモデル誤差を推定し、そのモデル誤差推定結果を前記プリセット制御手段での前記板温推定モデルによる前記仕上げ出側温度推定に反映させることができるようにするのを好ましい形態としている。

【 0 0 2 2 】

直前に圧延された鋼板のプリセット制御誤差（モデル誤差）と次回圧延される鋼板で予想されるプリセット制御誤差は一般に高い相関を有している。このようなプリセット制御誤差の特性に着目したのが本形態における適応制御で、これを行うことにより間接的に板温推定モデルのモデル誤差を補償することができ、これにより板温推定モデルと実際の冷却現象の乖離に起因して生じる制御誤差を低減でき、より高精度な制御が可能となる。

20

【 0 0 2 3 】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記仕上げ圧延機から尾端抜けと判定された鋼板の複数の部位について検出または算出された、前記目標温度と前記実測仕上げ出側温度の偏差、前記想定仕上げ入側温度と前記実測仕上げ入側温度の偏差、前記想定鋼板速度と前記実測鋼板速度の偏差、前記仕上げ出側温度偏差補正手段の出力、仕上げ入側温度偏差補正手段の出力の前記ロックオン値、および前記速度偏差補正手段の出力に基づいて適応制御量を求める適応制御量算出手段を備えるとともに、前記目標温度を前記適応制御量算出手段による前記適応制御量で補正することで仕上げ出側温度予測用目標温度を求める適応制御手段を備え、そして前記適応制御手段で求めた前記仕上げ出側温度予測用目標温度を前記板温推定モデルによる前記仕上げ出側温度の推定に際して用いるようにされていることを好ましい形態としている。このような形態によれば、モデル誤差の補償をより効果的になすことが可能となる。

30

【 0 0 2 4 】

また本発明では、上記課題を解決するために、複数のスタンド、前記スタンドの間での冷却水の注水により圧延中の鋼板を冷却できるようにされたスタンド間冷却装置、前記鋼板の入側における温度である仕上げ入側温度を計測する仕上げ入側温度計測手段、および前記鋼板の出側における温度である仕上げ出側温度を計測する仕上げ出側温度計測手段を備えた仕上げ圧延機における前記スタンド間冷却装置に対し、前記仕上げ出側温度を所望の目標温度に合せるように冷却水量を制御するためのスタンド間冷却制御方法において、プリセット制御とダイナミック制御を組み合わせた制御を行えるようにされ、前記プリセット制御は、前記冷却水による冷却に関して前記仕上げ出側温度を推定する板温推定モデルにより前記仕上げ出側温度を前記鋼板が前記冷却水で冷却されるのに先立って推定し、その推定仕上げ出側温度に基づいて前記スタンド間冷却装置の冷却水量を算出して得られるプリセット制御出力によりなすようにされ、前記ダイナミック制御は、前記仕上げ圧延機で圧延されつつ前記スタンド間冷却装置で冷却されている前記鋼板について状態量を取得し、その取得された状態量に基づいて前記冷却水量の変更量を算出して得られるダイナミック制御出力によりなすようにされていることを特徴としている。

40

【 0 0 2 5 】

50

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記ダイナミック制御出力は、前記仕上げ入側温度に関して前記プリセット制御出力の生成時に想定された想定仕上げ入側温度と圧延中に実測して得られる実測仕上げ入側温度の偏差の前記仕上げ出側温度への影響を抑制する前記冷却水量の変更量についての制御出力である仕上げ入側温度偏差補正出力を含んでおり、そして前記仕上げ入側温度偏差補正出力を所定のタイミングで保持し、それ以後は一定に保たれるロックオン値とすることができるようにされていることを好ましい形態としている。

【0026】

また本発明では、上記のようなスタンド間冷却制御装置について、前記保持のタイミングは、前記仕上げ入側温度偏差補正出力についての最初の演算に対応した出力がなされた時点とするか、または前記仕上げ出側温度の検出が開始された時点とするようにされていることを好ましい形態としている。

10

【発明の効果】

【0027】

以上のような本発明によれば、熱間圧延の仕上げ圧延機におけるスタンド間冷却装置について、より高い温度精度を実現でき、しかも冷却水量の増減頻度もより小さくて済むような制御が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、本発明を実施するための形態について説明する。図1に、第1の実施形態によるスタンド間冷却制御装置1の構成を制御対象の仕上げ圧延機2と関連させて示す。スタンド間冷却制御装置1は、仕上げ圧延機2から種々の信号を受信し、制御信号を仕上げ圧延機2に出力する。

20

【0029】

仕上げ圧延機2は、5つのスタンドF1～F5（以下では、適宜に「スタンド」を省略して符号だけで記す）を備えている。図外の粗圧延機から仕上げ圧延機2に送られてくる鋼板3は、スタンドF1～F5それぞれにおける圧延ロール4で圧延されながら左から右に移動していく。また仕上げ圧延機2は、鋼板3のFETを測定する仕上げ入側温度計測手段である仕上げ入側温度計5を備えるとともに、鋼板3のFDTを測定する仕上げ出側温度計測手段である仕上げ出側温度計6を備え、さらにスタンド間冷却装置7を備えている。

30

【0030】

スタンド間冷却装置7は、スタンドF1～F5について、F1-F2間、F2-F3間、F3-F4間、F4-F5間のそれぞれに対応させてスタンド間冷却装置7a～7dとして設けられている。そしてスタンド間冷却装置7a～7dは、スタンド間冷却制御装置1からのスタンド間冷却指令にしたがったそれぞれの水量で冷却水を噴射状態で注水して鋼板3を冷却する。スタンド間冷却制御の目的は、仕上げ出側温度計6で計測されるFDTを所望の目標温度に高い精度で合せることである。FDTについての目標温度は、鋼板長手方向の各部位で一定とするのが通常であるが、異ならせることもある。

【0031】

40

次に、スタンド間冷却制御装置1について説明する。スタンド間冷却制御装置1は、鋼板3がスタンド間冷却装置7で冷却されるのに先立って各スタンド間冷却装置7a～7dの注水冷却水流量を算出してプリセット制御出力を生成して出力するプリセット制御手段11、鋼板3が仕上げ圧延機2で圧延されつつスタンド間冷却装置7a～7dで冷却されている最中に、仕上げ出側温度計6での測定温度などの鋼板3に関する各種の状態量を取り込んで冷却水量をリアルタイムで変更するためのダイナミック制御出力を生成して出力するダイナミック制御手段12、およびプリセット制御手段11のプリセット制御出力をダイナミック制御手段12のダイナミック制御出力で補正する、具体的にはプリセット制御出力とダイナミック制御出力を加算して得られるスタンド間冷却指令をスタンド間冷却装置7a～7dへ出力するスタンド間冷却指令生成手段13を備えている。以下、プリセ

50

ット制御手段 1 1 とダイナミック制御手段 1 2 の詳細について説明する。

【 0 0 3 2 】

まずプリセット制御手段 1 1 について説明する。プリセット制御手段 1 1 は、上述のように、鋼板 3 がスタンド間冷却装置 7 で冷却されるのに先立って各スタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d の冷却水流量を算出してプリセット制御出力を生成するのに機能する。そのためにプリセット制御手段 1 1 は、プリセット手段 1 4 を備え、このプリセット手段 1 4 により、目標温度テーブル 1 5、速度テーブル 1 6、標準流量パターンテーブル 1 7 それぞれから取り込む情報に基づいて板温推定モデル 1 8 による演算を行なうことで、冷却開始に先立っての各スタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d それぞれの冷却水量、つまりプリセット制御冷却水量を決定できるようにされている。

10

【 0 0 3 3 】

図 2 に目標温度テーブル 1 5 の構成例を示す。この例の目標温度テーブル 1 5 は、鋼種（鋼板の種類）に対応して仕上げ出側温度の目標値が層別されている。プリセット制御手段 1 1 は、圧延対象コイルの鋼種を判定し、目標温度テーブル 1 5 から対応する目標温度を抽出する。例えば鋼種が S S 4 0 0 であれば、仕上げ出側の目標温度は 9 0 0 となることになる。

【 0 0 3 4 】

図 3 に速度テーブル 1 6 の構成例を示す。この例の速度テーブル 1 6 は、鋼種、板厚、板幅に対して、鋼板 3 の最終スタンド（本実施形態では F 5）の出側速度について初期速度、定常速度、終期速度が層別されている。ここで、初期速度は、鋼板の先端が F 5 を払い出されるとき速度、終期速度は、鋼板の尾端が F 5 を抜けるときの速度、そして定常速度は、初期速度や終期速度が設定されない状態にあって、それらよりも速い速度として設定される速度である。プリセット手段 1 4 は、圧延対象コイルの鋼種、板厚、板幅を判定し、速度テーブル 1 6 から対応する速度情報を抽出する。例えば鋼種が S S 4 0 0、板厚 3 . 0 ~ 4 . 0 mm、板幅が 1 2 0 0 mm の場合、初期速度 3 6 0 m p m、定常速度 7 0 0 m p m、終期速度 6 0 0 m p m が設定されることになる。初期速度から定常速度へ至る速度変化の勾配は、プリセット手段 1 4 がスタンド間冷却流量を決める演算の中で、同一冷却水量で F D T が一定になる値に決定する。また定常速度から終期速度へ至る勾配は、設備制約や許容する範囲で決められる。F 5 出側の鋼板速度が決まると、F 5 の圧延ロール 4 の回転速度が決まり、さらにこの値から各スタンドの圧下率（入側板厚と出側板厚の比）にしたがって他のスタンドの圧延ロールの回転速度が決定される。

20

30

【 0 0 3 5 】

図 4 に標準流量パターンテーブル 1 7 の構成例を示す。この例の標準流量パターンテーブル 1 7 は、鋼種、板厚、板幅条件の下で冷却水量を決定する演算で用いる冷却水量の初期値を各スタンド間について蓄えており、初期値を最大流量に対するパーセントで与える場合となっている。例えば鋼種が S S 4 0 0、板厚 3 . 0 ~ 4 . 0 mm、板幅が 1 2 0 0 mm の場合、F 1 - F 2 間の初期流量は最大流量の 8 0 %、F 2 - F 3 間の初期流量は最大流量の 7 0 %、F 3 - F 4 間の初期流量は最大流量の 5 0 %、F 4 - F 5 間の初期流量は最大流量の 0 % と設定されることになる。このような標準流量パターンテーブル 1 7 の内容は、初期鋼板速度および鋼板先端で想定した F E T の下で、実際の F D T が目標温度を概ね満足でき、さらに各スタンドでの圧延に伴う温度降下パターンが所望になるように、シミュレーションや実際の圧延実績から求めることになる。

40

【 0 0 3 6 】

図 5 にプリセット手段 1 4 でなされるプリセット制御における処理の流れを示す。プリセット手段 1 4 によるプリセット制御は、ステップ S 1 1 ~ ステップ 1 6 の各処理過程を含む。ステップ S 1 1 では、目標温度テーブル 1 5 から目標温度を取り込み、速度テーブル 1 6 から初期速度を取り込む。ステップ S 1 2 では、標準流量パターンテーブル 1 7 から標準流量パターンを取り込む。ステップ S 1 3 では、ステップ S 1 1 やステップ S 1 2 で取り込んだ条件の下で板温推定モデル 1 8 により F D T を予測する計算を行う。F D T を予測する板温推定モデル 1 8 には、これから仕上げ圧延機 2 で圧延されることになる鋼

50

板について想定される F E T (想定 F E T) を初期値とし、鋼板からの熱輻射、対流熱伝導、圧延の塑性変形に伴う加工発熱、鋼板が圧延ロールに接触したときに奪われる接触伝導熱、鋼板と圧延ロールとの摩擦による摩擦発熱、スタンド間冷却による温度降下など、種々の要因を数式で表して積算して行く計算が必要になる。それぞれの計算式は従来から種々検討されており、例えば「板圧延の理論と実際」(日本鉄鋼協会編、1984)に詳しく述べられている。一例として、熱輻射による熱伝達係数の計算式は、下記の(1)式となる。

【0037】

$$hr = \cdot \left[\left\{ \frac{273+T_{su}}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{273+T_a}{100} \right\}^4 \right] / (T_{su} - T_a) \dots\dots (1)$$

ただし、 \cdot : ステファンボルツマン定数 (= 4.88)、 ϵ : 放射率、 T_a : 空気温度 ()、 T_{su} : 鋼板の表面温度 ()。

10

【0038】

鋼板がスタンド間を移動している間、(1)式にしたがって熱が鋼板から奪われる。冷却されている場合は、例えば「板圧延の理論と実際」に記載の関係式にしたがって、冷却水量に応じた熱が奪われる。各要因により奪われたり与えられたりする熱量の総和を熱伝達係数に置き換え、一定時間 Δt の間に鋼板から出入りする熱量を算出する。時間が経過する前の鋼板の温度をもとに、下記の(2)式により Δt 時間の熱量の移動を加減算する。

【0039】

$$T_n = T_{n-1} - (h_t + h_b) \cdot \Delta t / (\rho \cdot C \cdot B) \dots\dots (2)$$

ただし、 T_n : 現在の板温、 T_{n-1} : 前の板温、 h_t : 鋼板表面の熱伝達係数、 h_b : 鋼板裏面の熱伝達係数、 ρ : 鋼板の密度、 C : 鋼板の比熱、 B : 鋼板厚み。

20

また鋼板の厚み方向の熱伝導を考慮する必要がある場合には、よく知られる熱方程式を解くことで計算できる。その熱方程式は下記の(3)式で表され、これを計算機で差分計算する方法は、種々の文献で公開されている。

【0040】

$$T / \Delta t = \{ \lambda / (\rho \cdot C) \} (\partial^2 T / \partial x^2) \dots\dots (3)$$

ただし、 λ : 熱伝導率、 T : 材料温度。

【0041】

この計算を鋼板3の先端部について、F1に噛み込んでからF5を抜けるまでの間、時間を進ませて計算することで、鋼板3先端部のFDTを算出できる。

30

【0042】

図5に戻って、ステップS14では、FDTが目標温度に対して一定範囲(±)に入っているかどうかを判定する。目標温度より高い場合はスタンド間冷却水流量を増やす処理を行い、目標温度より低い場合はスタンド間冷却水流量を減らす処理を行う。それ以外の場合は、スタンド間冷却水流量を維持する。流量の増減処理は、各スタンド間の冷却水量を一定割合で増減させることで行うのが通常で、特定のスタンドの水量を増減させることで行う手法も必要に応じて用いられる。

【0043】

ステップS15では、終了条件を判定する。終了条件には、FDTが目標温度に対して一定範囲に入ったことを用いることができ、またステップS13やS14の計算繰り返し回数を終了条件に付加することも考えられる。

40

【0044】

ステップS16では、速度テーブル16で定められた定常速度まで鋼板3を加速するときの加速率を決定し、鋼板3の速度パターンを確定する。加速率Vrはあらかじめ定数として決めておいてもよいが、鋼板3の先端からのFET降下率FETrにしたがって、下記の(4)式で算出することも考えられる。

【0045】

$$Vr = (V / FDT) \cdot (FDT / FET) \cdot FETr \dots\dots (4)$$

ただし、 (V / FDT) 、 (FDT / FET) はダイナミック制御に使用する影響係数であり、後に説明する。以上の計算により、これから仕上げ圧延機2で圧延しようとする鋼板に対す

50

るスタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d それぞれのプリセット制御冷却水量が決定される。

【 0 0 4 6 】

次に、ダイナミック制御手段 1 2 について説明する。ダイナミック制御手段 1 2 は、上述のように、鋼板 3 が仕上げ圧延機 2 で圧延されつつスタンド間冷却装置 7 で冷却されている最中に、仕上げ出側温度計 6 での測定温度などの実績値をリアルタイムに取り込んで冷却水量を変更するダイナミック制御を行う。つまりダイナミック制御手段 1 2 は、プリセット制御手段 1 1 が出力したプリセット制御冷却水量を実測 F E T (圧延中の鋼板 3 について仕上げ入側温度計 5 が検出する F E T)、実測鋼板速度 (圧延中の鋼板 3 について F 5 の圧延ロール 4 から回転速度から求まる鋼板速度)、実測 F D T (圧延中の鋼板 3 について仕上げ出側温度計 6 が検出する F D T) に基づいてリアルタイムで変更するダイナ

10

【 0 0 4 7 】

そのためにダイナミック制御手段 1 2 は、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1、速度偏差補正手段 2 2、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3、およびダイナミック制御出力生成手段 2 4 を備えている。こうしたダイナミック制御手段 1 2 は、より具体的には図 6 に示す例のように構成される。図 6 の例では、上記各機能手段に加えて、影響係数テーブル 2 5、フィードバック制御起動タイミング生成手段 2 6、フィードバックゲイン選択手段 2 7、およびトラッキング手段 2 8 を備えている。以下、これら各要素の詳細について説明する。

【 0 0 4 8 】

まず影響係数テーブル 2 5 について説明する。影響係数テーブル 2 5 は、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1、速度偏差補正手段 2 2、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 それぞれでなされる計算で使用する影響係数を格納するテーブルであり、冷却水量の変化が F D T に及ぼす影響を格納した第 1 の影響係数テーブル 2 5 a、F E T の変化が F D T に及ぼす影響を格納した第 2 の影響係数テーブル 2 5 b、および最終スタンド出側 (F 5) の鋼板速度の変化が F D T に及ぼす影響を格納した第 3 の影響係数テーブル 2 5 c を含んでいる。

20

【 0 0 4 9 】

図 7 に第 1 の影響係数テーブル 2 5 a の構成例を示す。この例の第 1 の影響係数テーブル 2 5 a は、冷却水量を単位量変化させたときの F D T の変化量に対応した数値である F D T / Q () が鋼種、圧延後の板厚、スタンドで層別されて格納されている。すなわち第 1 の影響係数テーブル 2 5 a は、例えば鋼種が炭素鋼 (S S 4 0 0)、板厚が 2 mm 以下の場合、F 1 - F 2 間の (F D T / Q) は 0 . 1 であり、冷却水を単位流量について増減すると F D T が 0 . 1 低下または上昇することを示している。なお、層別項目として仕上げ出側の鋼板速度を加えるようにしてもよい。

30

【 0 0 5 0 】

図 8 に第 2 の影響係数テーブル 2 5 b の構成例を示す。この例の第 2 の影響係数テーブル 2 5 b は、仕上げ入側温度計 5 で計測した F E T が 1 増加、または減少したときの F D T の変化量に対応した数値である F D T / F E T が鋼種、仕上げ出側板速、仕上げ出側板厚で層別されて格納されている。すなわち第 2 の影響係数テーブル 2 5 b は、例えば鋼種が炭素鋼 (S S 4 0 0)、F 5 出側板速が 4 0 0 m p m 以下、板厚が 2 mm 以下の場合、(F D T / F E T) = 0 . 0 2 であり、F E T の計測値が 1 高いかまたは低い場合に F D T が 0 . 0 2 増加するかまたは減少することを示している。また、仕上げ板厚が増加すると (F D T / F E T) の値は大きくなることも示しており、例えば F 5 出側板速が 4 0 0 m p m 以下の場合、板厚 7 mm 以上では、F E T の 1 の変化に F D T の 0 . 5 6 の変化が対応することを示している。

40

【 0 0 5 1 】

図 9 に第 3 の影響係数テーブル 2 5 c の構成を示す。この例の第 3 の影響係数テーブル 2 5 c は、鋼板速度を 1 m p m 増加または減少させたときの F D T の変化量に対応した数値である F D T / V が鋼種、仕上げ出側板速、仕上げ出側板厚で層別されて格納され

50

ている。すなわち第3の影響係数テーブル25cは、例えば鋼種が炭素鋼(SS400)、F5出側板速が400mpm以下、板厚が2mm以下の場合、 $(FDT/V) = 0.06$ であり、鋼板速度の1mpmの変化に対して、FDTが0.06変化することを示している。

【0052】

次に、仕上げ入側温度偏差補正手段21について説明する。仕上げ入側温度偏差補正手段21は、一定周期で起動され、仕上げ入側温度計5からの得られる実測FETとプリセット制御処理における想定FETとの偏差を補正するために、FETに関するフィードフォワード制御(以下、適宜にFET-FF制御またはFET-FFと記す)を行う。すなわちプリセット制御処理における想定FETと仕上げ入側温度計5で計測される実測FETの偏差に関し、そのFDTへの影響を抑制する冷却水流量を算出し、スタンド間冷却装置7a~7dへの冷却指令変更量 Q_1 として出力する。ここで Q_1 は、下記の(5)式で表される。

【0053】

$$Q_1 = (q_{11}, q_{12}, q_{13}, q_{14}) \dots \dots (5)$$

ただし、 q_{11} : F1-F2間冷却水量の変更量、 q_{12} : F2-F3間冷却水量の変更量、 q_{13} : F3-F4間冷却水量の変更量、 q_{14} : F4-F5間冷却水量の変更量。

【0054】

具体的には、想定FETと実測FETの偏差FETを取り込み、スタンド間冷却装置7a~7dのいずれかでFETの影響を解消するか決めた後、さらに第1の影響係数テーブル25aと第2の影響係数テーブル25bから現在の状態に該当した層別の影響係数 (FDT/Q) 、 (FDT/FET) を取り込み、下記の(6)式で該当のスタンド間の冷却水変更量(該当のスタンド間冷却装置7の冷却水変更量)を計算する。

【0055】

$$q_{1i} = G_1 \cdot (Q/FET)_i \cdot FET \\ = G_1 \cdot \{1/(FDT/Q)_i\} \cdot (FDT/FET) \cdot FET \dots \dots (6)$$

ただし、 q_{1i} : FET-FFによる $F_i - F_{i+1}$ 間冷却水変更量、 G_1 : 定数(FET-FFゲイン)、 $(FDT/Q)_i$: $F_i - F_{i+1}$ 間の冷却水量に関して、第1の影響係数テーブル25aから抽出した該当層別の影響係数、 (FDT/FET) : 第2の影響係数テーブル25bから抽出した該当層別の影響係数。

【0056】

FETを解消するスタンドは、冷却水量変更の余裕の有無にしたがって入側スタンドから優先的に選択するのが普通であるが、出側スタンドから優先的に選択するなどの選択方法も考えられる。

【0057】

次に、速度偏差補正手段22について説明する。速度偏差補正手段22も同様に一定周期で起動され、実測鋼板速度とプリセット制御演算時に速度テーブル16から想定した想定鋼板速度との偏差を補正するために、鋼板速度の偏差に関するフィードフォワード制御(以下、適宜にV-FF制御またはV-FFと記す)を行う。すなわちプリセット制御処理における想定鋼板速度と実測鋼板速度との偏差に関し、そのFDTへの影響を抑制する冷却水流量を算出し、スタンド間冷却装置7a~7dへの冷却指令変更量 Q_2 として出力する。ここで Q_2 は、下記の(7)式で表される。

【0058】

$$Q_2 = (q_{21}, q_{22}, q_{23}, q_{24}) \dots \dots (7)$$

ただし、 q_{21} : F1-F2間冷却水量の変更量、 q_{22} : F2-F3間冷却水量の変更量、 q_{23} : F3-F4間冷却水量の変更量、 q_{24} : F4-F5間冷却水量の変更量。

【0059】

具体的には想定鋼板速度と実測鋼板速度の偏差Vを取り込み、スタンド間冷却装置7a~7dのいずれかでVの影響を解消するか決めた後、さらに第1の影響係数テーブル25aと第3の影響係数テーブル25cから現在の状態に該当した層別の影響係数 (FDT/V)

10

20

30

40

50

T / Q)、(F D T / V)を取り込み、下記の(8)式で該当のスタンド間の冷却水変更量を計算する。

【 0 0 6 0 】

$$q_{2i} = G_2 \cdot (Q / V)_i \cdot V \\ = G_2 \cdot \{ 1 / (F D T / Q)_i \} \cdot (F D T / V) \cdot V \dots\dots (8)$$

ただし、 q_{2i} : V - F F による $F_i - F_{i+1}$ 間冷却水変更量、 G_2 : 定数 (V - F F 制御ゲイン)、(F D T / V) : 第 3 の影響係数テーブル 2 5 c から抽出した該当層別の影響係数。

【 0 0 6 1 】

V を解消するスタンドは、同様に冷却水量変更余裕の有無にしたがって入側スタンドから優先的に選択すればよいが、出側スタンドから優先的に選択するなどの選択方法も考えられる。

10

【 0 0 6 2 】

次に、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 について説明する。仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 は、フィードバック制御起動タイミング生成手段 2 6 により起動され、実測 F D T と目標温度との偏差を補正するために、F T D に関するフィードバック制御 (以下、適宜に F D T - F B 制御または F D T - F B と記す) を行う。すなわち目標温度と実測 F D T の差分を小さくするような冷却水量を算定し、スタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d への冷却指令変更量 Q_3 として出力する。ここで Q_3 は下記の(9)式で表される。

【 0 0 6 3 】

$$Q_3 = (q_{31}、q_{32}、q_{33}、q_{34}) \dots\dots (9)$$

ただし、 q_{21} : F 1 - F 2 間冷却水量の変更量、 q_{22} : F 2 - F 3 間冷却水量の変更量、 q_{23} : F 3 - F 4 間冷却水量の変更量、 q_{24} : F 4 - F 5 間冷却水量の変更量。

20

【 0 0 6 4 】

具体的には実測 F D T と目標温度との偏差 F D T を取り込み、スタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d のいずれで F D T を解消するか決めた後、さらに第 1 の影響係数テーブル 2 5 a から現在の状態に該当した層別の影響係数 (F D T / Q) を取り込み、下記の(1 0)式で該当のスタンド間の冷却水変更量を計算する。

【 0 0 6 5 】

$$q_{3i} = G_3 \cdot \{ 1 / (F D T / Q)_i \} \cdot F D T \dots\dots (1 0)$$

ただし、 q_{3i} : F D T - F B による $F_i - F_{i+1}$ 間冷却水変更量、 G_3 : 定数 (F D T - F B 制御ゲイン)。

30

【 0 0 6 6 】

F D T を解消するスタンドは、フィードバック制御の応答性および制御効果という点では下流スタンドを優先的に選択するのが好ましい。ただ、鋼板 3 が薄く圧延されてから冷却すると鋼板 3 の形状に悪影響を与える場合もある。この点を考慮して、フィードバック制御の応答性のある程度犠牲にして、入側スタンドから優先的に選択するようにしてもよい。

【 0 0 6 7 】

次に、フィードバック制御起動タイミング生成手段 2 6 について説明する。フィードバック制御起動タイミング生成手段 2 6 は、上述のように仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 の起動タイミングを生成する。図 1 0 にフィードバック制御起動タイミング生成手段 2 6 が実行する処理の流れを示す。フィードバック制御起動タイミング生成手段 2 6 は、数百 m s 程度の周期でタイマ起動され、ステップ S 2 1 ~ ステップ 2 6 の各処理を行う。ステップ S 2 1 では、圧延ロール 4 の回転速度を取り込む。ステップ S 2 2 では、ステップ S 2 1 で取り込んだ回転速度値から求められる鋼板速度を積分して鋼板の移動量を算出する。鋼板速度は、圧延ロール 4 の回転速度から、広く知られる先進率、後進率を用いた演算で容易に換算して求めることができる。

40

【 0 0 6 8 】

ステップ S 2 3 では、操作量変更に対応した鋼板部位が仕上げ出側温度計 6 を通過した

50

かどうか、つまり冷却水量変更の対象となったスタンド間冷却装置（スタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d のいずれか 1 つまたは複数）直下の鋼板部位が仕上げ出側温度計 6 を通過したかどうかを判定する。この判定は、FDT-FB 制御でスタンド間冷却水量を変更したタイミングで行う。ステップ S 2 3 の判定結果が否定的であれば処理を終了し、肯定的であればステップ S 2 4 に進む。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 2 4 では、一定時間の経過を判定する。ここで一定時間とは、スタンド間冷却装置 7 に水量変更指令を与えた後、対応する水量が鋼板 3 の冷却に反映されるまでの時間（通常 1 ~ 2 秒）に相当する時間である。ステップ S 2 4 の判定結果が否定的であれば処理を終了し、肯定的であればステップ S 2 5 に進む。

10

【 0 0 7 0 】

ステップ S 2 5 では、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 に起動信号を出力する。そしてステップ S 2 6 で鋼板移動量算出用の積分値をクリアし、終了となる。

【 0 0 7 1 】

次に、フィードバックゲイン選択手段 2 7 について説明する。フィードバックゲイン選択手段 2 7 は、予め用意されている複数のゲインから選択することで上記（10）式における定数 G 3 を決定する。その選択決定は、鋼板速度の安定性に基づいて行う。より具体的には、鋼板速度が最高速度に到達して定常状態に移行していれば安定であるとし、定常状態への移行状態（加速中）または定常状態からの移行状態（減速中）のいずれかであれば非安定であるとし、これら安定、非安定に応じてゲインの選択を行う。こうしたフィードバックゲイン選択手段 2 7 は、同様に数百 m s 程度の周期でタイマ起動され、図 1 1 にその処理の流れを示すように、ステップ S 3 1 ~ ステップ 3 3 の各処理を行う。

20

【 0 0 7 2 】

ステップ S 3 1 では、圧延ロール 4 の回転速度を取り込み、最高速度に到達したかどうかを判定する。到達していない場合はステップ S 3 2 に進み、FDT-FB 制御ゲイン G 3 としてゲイン 1（第 1 のゲイン）を出力する。一方、到達している場合はステップ S 3 2 に進み、FDT-FB 制御ゲイン G 3 としてゲイン 2（第 2 のゲイン）を出力する。通常はゲイン 1 < ゲイン 2 とする。このようにすることで、鋼板速度が加速中は相対的に小さなゲインで安定した FB 制御を行い、鋼板速度が定常状態に到達して圧延が安定した後は、大きなゲインで応答性のよい FB 制御を行うことができる。

30

【 0 0 7 3 】

次に、トラッキング手段 2 8 について説明する。トラッキング手段 2 8 は、圧延ロール 4 の回転速度を取り込み、ダイナミック制御出力生成手段 2 4 の処理内容を決定するための鋼板先端位置情報を出力する。図 1 2 にトラッキング手段 2 8 が実行する処理の流れを示す。トラッキング手段 2 8 は、同様に数百 m s 程度の周期でタイマ起動され、ステップ S 4 1 ~ ステップ 4 4 の各処理を行う。ステップ S 4 1 では、圧延ロール 4 の回転速度を取り込む。ステップ S 4 2 では、ステップ S 2 1 で取り込んだ回転速度値から求められる鋼板速度を積分して鋼板の移動量を算出する。ステップ S 4 3 では、鋼板移動量から鋼板 3 の先端位置を算定し、その算定結果から鋼板 3 の先端について、仕上げ入側温度計 5 の位置、仕上げ出側温度計 6 の位置のいずれにあるかを判定し、また仕上げ最終スタンド抜けしたかを判定する。ステップ S 4 4 では、ステップ S 4 3 での判定結果をステータス情報にしてダイナミック制御出力生成手段 2 4 に出力する。

40

【 0 0 7 4 】

次に、ダイナミック制御出力生成手段 2 4 について説明する。ダイナミック制御出力生成手段 2 4 は、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1、速度偏差補正手段 2 2、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 それぞれからの出力を選択的に用いてダイナミック制御指令（ダイナミック制御出力：スタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d それぞれの冷却水量をリアルタイムでダイナミックに制御するための指令出力）を生成する。より具体的には、トラッキング手段 2 8 からの情報に基づいて制御モードを判定し、その判定結果に応じて仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1、速度偏差補正手段 2 2、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 からの各出力

50

を切り替えることでダイナミック制御手段 1 2 の出力を決定する。

【 0 0 7 5 】

図 1 3 に、ダイナミック制御出力生成手段 2 4 で実行される処理の流れを示す。なお、図 1 3 では、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 を F E T - F F 制御、速度偏差補正手段 2 2 を V - F F 制御、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 を F D T - F B 制御と略記している。ダイナミック制御出力生成手段 2 4 は、定周期で起動され、ステップ S 5 1 ~ ステップ S 6 1 の各処理を行う。

【 0 0 7 6 】

ステップ S 5 1 では、制御モードの判定を行う。具体的には、制御モードが 0、1、2 のいずれにあるかを判定する。ここで、制御モード 0 は、圧延していない状態、制御モード 1 は、鋼板の F E T が検出された後、鋼板が仕上げ圧延機 2 に進入しているものの F D T 検出には至らない状態、制御モード 2 は、最初の F D T 検出後、鋼板が仕上げ圧延機 2 を抜けるまでの状態である。

【 0 0 7 7 】

ステップ S 5 1 で制御モード 0 と判定された場合にはステップ S 5 2 に進む。ステップ S 5 2 では、鋼板が仕上げ圧延機 2 に進入して F E T の検出が開始されたかどうか判定する。F E T の検出が開始されていない場合は処理を終了する。一方、F E T の検出が開始されている場合はステップ S 5 3 に進み、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 と速度偏差補正手段 2 2 の出力を加算した値を出力し、さらにステップ S 5 4 で制御モードを 1 にして処理終了となる。

【 0 0 7 8 】

ステップ S 5 1 で制御モード 1 と判定された場合にはステップ S 5 5 に進む。ステップ S 5 5 では、鋼板の先端が仕上げ圧延機 2 を出て F D T の検出が開始されたかどうかを判定する。F D T が検出されていない場合はステップ S 5 6 に進み、ステップ S 5 3 と同様に、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 と速度偏差補正手段 2 2 の出力を加算した値を出力し、処理終了となる。一方、F D T 検出が開始されている場合はステップ S 5 7 に進み、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の現在の出力を保持 (ロックオン) する。そしてステップ S 5 8 で仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力のロックオン値、速度偏差補正手段 2 2 の出力、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 の出力という 3 つの値を加算した値を出力し、さらにステップ S 5 9 で制御モードを 2 にして処理を終了する。

【 0 0 7 9 】

ステップ S 5 1 で制御モード 2 と判定された場合にはステップ S 6 0 に進む。ステップ S 6 0 では、鋼板が仕上げ圧延機 2 を抜けたかどうかを判定する。抜けていない場合にはステップ S 6 1 に進み、ステップ S 5 8 と同様に、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力のロックオン値、速度偏差補正手段 2 2 の出力、仕上げ出側温度偏差補正手段の 2 3 出力という 3 つの値を加算した値を出力する。鋼板が仕上げ圧延機 2 を抜けていた場合には、ステップ S 6 2 で制御モードを 0 にして、処理を終了する。処理終了となったらダイナミック制御出力生成手段 2 4 は、次の鋼板の仕上げ圧延機 2 への進入を待って、同様の処理を繰り返す。

【 0 0 8 0 】

図 1 4 に、鋼板一本におけるダイナミック制御出力生成手段 2 4 の出力例を、他の信号とあわせて示す。ダイナミック制御出力生成手段 2 4 の出力値 S g は、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力値 S a またはそのロックオン値 S a L、速度偏差補正手段 2 2 の出力値 S b、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 の出力値 S c の総和となる。仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の処理は、時刻 t 1 で開始され、出力値 S a を出力する。時刻 t 2 で仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 が処理を開始すると、時刻 t 3 (本例では t 3 = t 2) で仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力がロックオンされ、以後は一定に保たれるロックオン値 S a L を出力する。仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 はその後、出力に対応する F D T を検出したタイミングで再計算される出力値 S c を出力し、時刻 t 6 で鋼板が仕上げ圧延機 2 を抜けると、出力値の出力を終了する。時刻 t 1 ~ 時刻 t 6 の間、速度偏差補正

10

20

30

40

50

手段 2 2 はその処理を一定周期で繰返している。図 1 4 の例では、時刻 t_4 において速度に偏差が生じ、これに応じて速度偏差補正手段 2 2 が出力値 S_b の出力を開始し、時刻 t_5 で速度偏差がなくなると出力値 S_b の出力を終了する。

【 0 0 8 1 】

仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力のロックオンタイミングとして、本実施形態では、FDT 検出の開始時、つまり仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 の出力開始時としたが、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の最初の演算に対応した出力をそのままロックオンしてもよい。これは、ダイレクトチャージタイプのミニホットタンデム圧延の場合であると、鋼板長手方向での FET の変動が少なく、1 本の鋼板に対する圧延が開始される時点についてだけ FET - FF 制御を行えば、その後は圧延開始時点の FET - FF 制御の出力を利用して FET - FF 制御の精度に実質的な影響がないといえるからであり、こうしたミニホットタンデム圧延の特性は、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力のロックオンの有効性の前提にもなっている。

10

【 0 0 8 2 】

以上のようなダイナミック制御出力生成手段 2 4 の出力、つまりダイナミック制御出力は、スタンド間冷却指令生成手段 1 3 によりプリセット制御手段 1 1 からの出力と加算され、これによりスタンド間冷却指令生成手段 1 3 においてスタンド間冷却指令が生成されてスタンド間冷却装置 7 a ~ 7 d に出力される。

【 0 0 8 3 】

以下、第 2 の実施形態について説明する。図 1 5 に、第 2 の実施形態によるスタンド間冷却制御装置 3 1 の構成を制御対象の仕上げ圧延機 2 と関連させて示す。本実施形態のスタンド間冷却制御装置 3 1 は、適応制御量算出手段 3 2 と適応制御手段 3 3 をさらに備える点を除いて、第 1 の実施形態のスタンド間冷却制御装置 1 と同様である。したがって以下では、適応制御量算出手段 3 2 と適応制御手段 3 3 について主に説明し、スタンド間冷却制御装置 1 と共通する構成要素については、図 1 と同一の符号を付して示し、上での説明を援用するものとする。なお、図 1 5 では構成要素の一部について図示を省略してある。

20

【 0 0 8 4 】

適応制御量算出手段 3 2 と適応制御手段 3 3 は、適応制御に機能する。ここで、適応制御とは、ダイナミック制御手段 1 2 による制御の実績からプリセット制御手段 1 1 における板温推定モデル 1 8 のモデル誤差（プリセット制御誤差）を推定し、そのモデル誤差推定結果をプリセット制御手段 1 1 での板温推定モデル 1 8 による FDT 予測計算に反映させるようにして行なう制御である。ダイナミック制御手段 1 2 の制御実績に基づいて適応制御量（補正温度）を求める。そしてその適応制御量を目標温度テーブル 1 5 から得られる目標温度に加算し、それにより得られる温度（目標温度テーブル 1 5 からの目標温度 + 適応制御量）を FDT 目標温度として用いるようにする。

30

【 0 0 8 5 】

適応制御量算出手段 3 2 は、図 1 6 にその流れを示すように、ステップ S 6 1 ~ ステップ S 6 3 の各処理を行う。ステップ S 6 1 では、鋼板 3 の尾端が仕上げ圧延機 2 の最終スタンド (F 5) を抜けたことを判定する。鋼板 3 の尾端が抜けていない場合は尾端抜けを待つ処理を行う。鋼板 3 の尾端が抜けと判定されたら、ステップ S 6 2 に進む。

40

【 0 0 8 6 】

ステップ S 6 2 では、尾端抜けと判定された鋼板 3 の複数の部位について FET - FF 制御の出力をロックオンした後に検出または算出された、目標温度と実測 FDT の差である FDT、プリセット制御処理における想定 FET と実測 FET の差である FET、プリセット処理における想定鋼板速度と実績鋼板速度の差である V 、仕上げ出側温度偏差補正手段 2 3 の出力である Q_{FDT-FF} 、仕上げ入側温度偏差補正手段 2 1 の出力のロックオン値である $Q_{FET-FR-LOCK}$ 、速度偏差補正手段 2 2 の出力である Q_{V-FF} をそれぞれ取り込む。

【 0 0 8 7 】

50

ステップS63は、ステップS62で取り込んだ各値を複数の部位について平均した値を改めて FDT、FET、V、 Q_{FDT-FB} 、 $Q_{FET-FR-Lock}$ 、 Q_{V-FF} とし、FDT換算のプリセット制御誤差 C_{err-eq} を下記の(11)式で算出し、それを適応制御量としてプリセット制御手段11の適応制御手段33に出力して処理を終了する。

【0088】

$$C_{err-eq} = FDT - (FDT / Q) \cdot Q_{FDT-FB} \\ + (FDT / FET) \cdot FET - (FDT / Q) \cdot Q_{FET-FF-Lock} \\ + (FDT / V) \cdot V - (FDT / Q) \cdot Q_{V-FF} \dots\dots (11)$$

適応制御手段33は、適応制御量算出手段32から与えられる適応制御量を用いて目標温度を補正し、それによりFDT予測用目標温度を求める。具体的には、「目標温度テーブル15からの目標温度+適応制御量」としてFDT予測用目標温度を求める。こうした適応制御手段33は、図17にその流れを示すように、ステップS71とステップS72の各処理を行う。ステップS71では、目標温度テーブル15から該当の目標温度を取り込む。ステップS72では、ステップS71で取り込んだ目標温度に適応制御量算出手段32からの適応制御量を加算してFDT予測用目標温度を算出し、そのFDT予測用目標温度をプリセット手段14に渡す。

10

【0089】

直近に圧延された鋼板のプリセット制御誤差と次回圧延される鋼板で予想されるプリセット制御誤差は一般に高い相関を有している。このようなプリセット制御誤差の特性に着目したのが以上のような適応制御で、これを行うことにより間接的に板温推定モデル18のモデル誤差を補償することができ、これにより板温推定モデル18と実際の冷却現象の乖離に起因して生じる制御誤差を低減でき、より高精度な制御が可能となる。

20

【0090】

以上、本発明を実施するための形態について説明したが、これらは代表的な例に過ぎず、本発明はその趣旨を逸脱することのない範囲で様々な形態で実施することができる。

【図面の簡単な説明】

【0091】

【図1】第1の実施形態によるスタンド間冷却制御装置の構成を示す図である。

【図2】目標温度テーブルの例を示す図である。

【図3】速度テーブルの例を示す図である。

30

【図4】標準流量パターンテーブルの例を示す図である。

【図5】プリセット制御における処理の流れを示す図である。

【図6】ダイナミック制御手段の構成例を示す図である。

【図7】第1の影響係数テーブルの例を示す図である。

【図8】第2の影響係数テーブルの例を示す図である。

【図9】第3の影響係数テーブルの例を示す図である。

【図10】フィードバック制御起動タイミング生成手段の処理の流れを示す図である。

【図11】フィードバックゲイン選択手段の処理の流れを示す図である。

【図12】トラッキング手段の処理の流れを示す図である。

【図13】ダイナミック制御出力生成手段の処理の流れを示す図である。

40

【図14】ダイナミック制御出力生成手段の出力の例を示す図である。

【図15】第2の実施形態によるスタンド間冷却制御装置の構成を示す図である。

【図16】適応制御量算出手段の処理の流れを示す図である。

【図17】適応制御手段の処理の流れを示す図である。

【符号の説明】

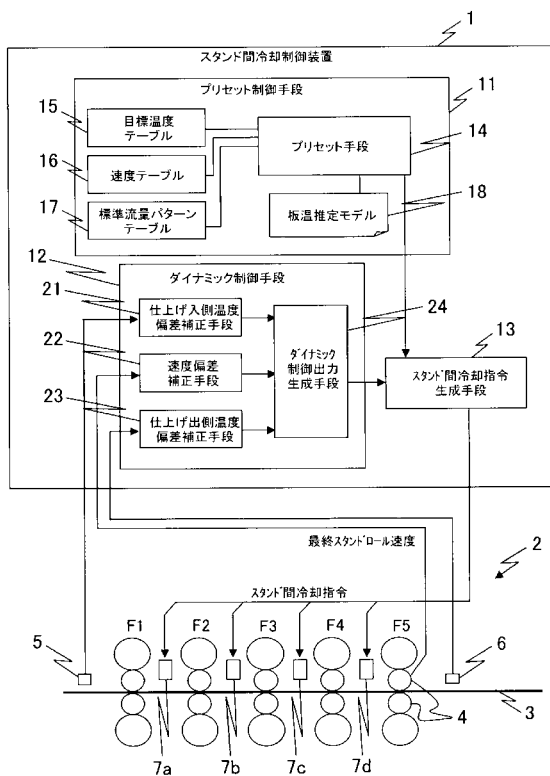
【0092】

- 1 スタンド間冷却制御装置
- 2 仕上げ圧延機
- 3 鋼板
- 5 仕上げ入側温度計(仕上げ入側温度計測手段)

50

- 6 仕上げ出側温度計（仕上げ出側温度計測手段）
- 7 スタンド間冷却装置
 - 1 1 プリセット制御手段
 - 1 2 ダイナミック制御手段
 - 1 3 スタンド間冷却指令生成手段
 - 1 8 板温推定モデル
- 2 1 仕上げ入側温度偏差補正手段
- 2 2 速度偏差補正手段
- 2 3 仕上げ出側温度偏差補正手段
- 2 4 ダイナミック制御出力生成手段
- 2 5 影響係数テーブル
 - 2 5 a 第1の影響係数テーブル
 - 2 5 b 第2の影響係数テーブル
 - 2 5 c 第3の影響係数テーブル
- 3 2 適応制御量算出手段
- 3 3 適応制御手段
- F 1 ~ F 5 スタンド

【図1】



【図2】

鋼種	目標温度
SS400	900℃
SUS306	880℃
DP	890℃
...	...

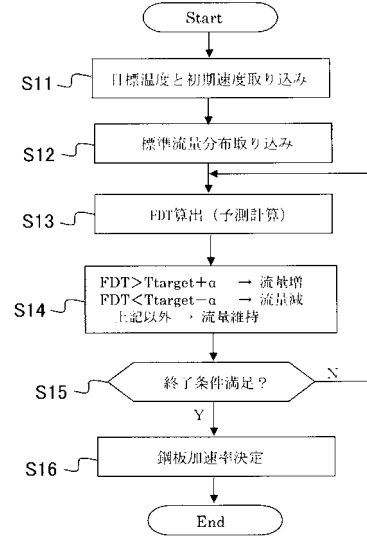
【図3】

鋼種	板厚	板幅	初期速度	定常速度	終期速度
SS400	2.0~3.0mm	900mm	400mpm	800mpm	600mpm
		1200mm	380mpm	750mpm	600mpm
		1500mm	360mpm	700mpm	600mpm
...	3.0~4.0mm	900mm	380mpm	750mpm	600mpm
		1200mm	360mpm	700mpm	600mpm
...

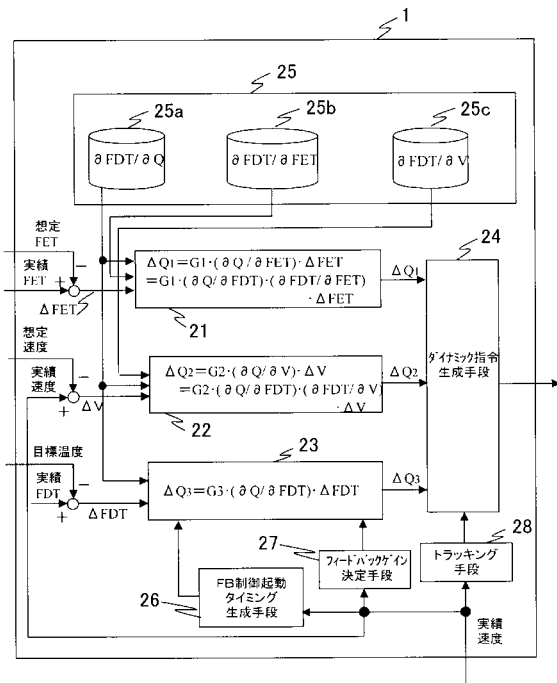
【図4】

鋼種	板厚	板幅	F1-F2	F2-F3	F3-F4	F4-F5
SS400	2.0~3.0mm	900mm	80%	70%	50%	0%
		1200mm	90%	70%	40%	0%
		1500mm	100%	100%	0%	0%
	3.0~4.0mm	900mm	80%	60%	50%	10%
		1200mm	80%	70%	50%	0%
...

【図5】



【図6】



【図7】

鋼種	F5出割板厚	スタンド	ΔFDT/ΔQ
SS400	~2mm	F1-F2	0.19 °C
		F2-F3	0.58 °C
		F3-F4	1.06 °C
		F4-F5	1.52 °C
	2~3mm	F1-F2	0.09 °C
		F2-F3	0.51 °C
		F3-F4	0.93 °C
		F4-F5	1.32 °C
	3~4mm	F1-F2	0.07 °C
		F2-F3	0.44 °C
F3-F4		0.86 °C	
F4-F5		1.02 °C	
4~5mm	F1-F2	0.05 °C	
	F2-F3	0.36 °C	
...
SUS306

【図 8】

25b

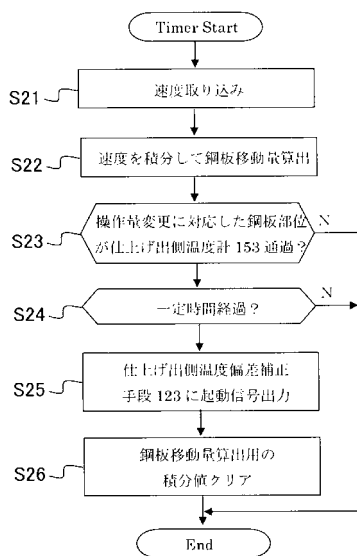
鋼種	F5出側板速	仕上げ板厚	θ FDT/ Δ θ FET
SS400	~400rpm	~2mm	0.02 °C
		2~3mm	0.10 °C
		3~4mm	0.19 °C
		4~5mm	0.23 °C
		5~6mm	0.30 °C
		6~7mm	0.41 °C
		7~mm	0.56 °C
	400~500rpm	~2mm	0.83 °C
		2~3mm	0.81 °C
		3~4mm	0.79 °C
		4~5mm	0.77 °C
		5~6mm	0.76 °C
		6~7mm	0.74 °C
		7~mm	0.72 °C
SUS306			

【図 9】

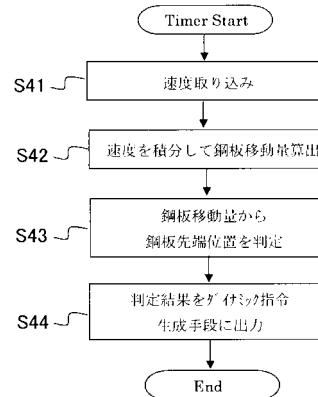
25c

鋼種	F5出側板速	仕上げ板厚	θ FDT/ Δ θ V
SS400	~400rpm	~2mm	0.06 °C
		2~3mm	0.09 °C
		3~4mm	0.12 °C
		4~5mm	0.15 °C
		5~6mm	0.13 °C
		6~7mm	0.11 °C
		7~mm	0.09 °C
	400~500rpm	~2mm	0.05 °C
		2~3mm	0.08 °C
		3~4mm	0.11 °C
		4~5mm	0.14 °C
		5~6mm	0.12 °C
		6~7mm	0.10 °C
		7~mm	0.08 °C
SUS306			

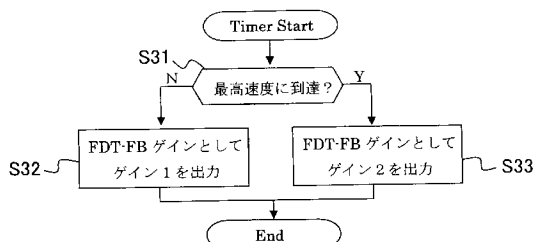
【図 10】



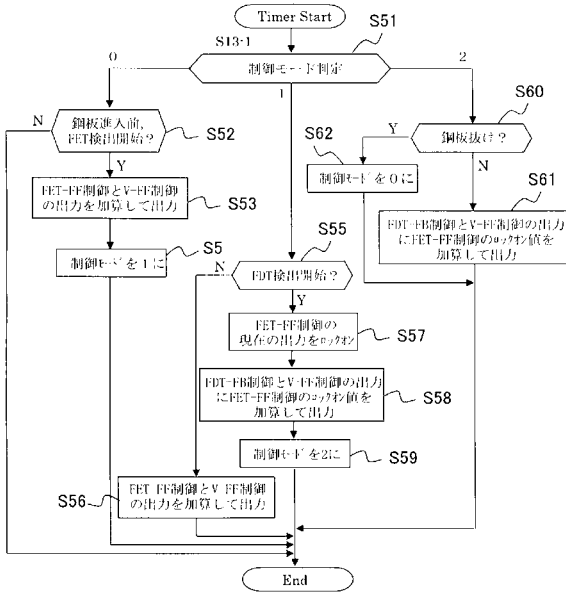
【図 12】



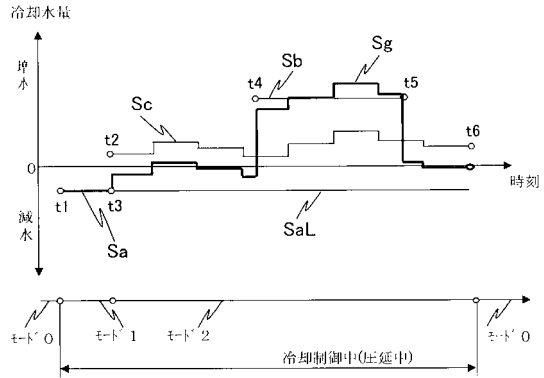
【図 11】



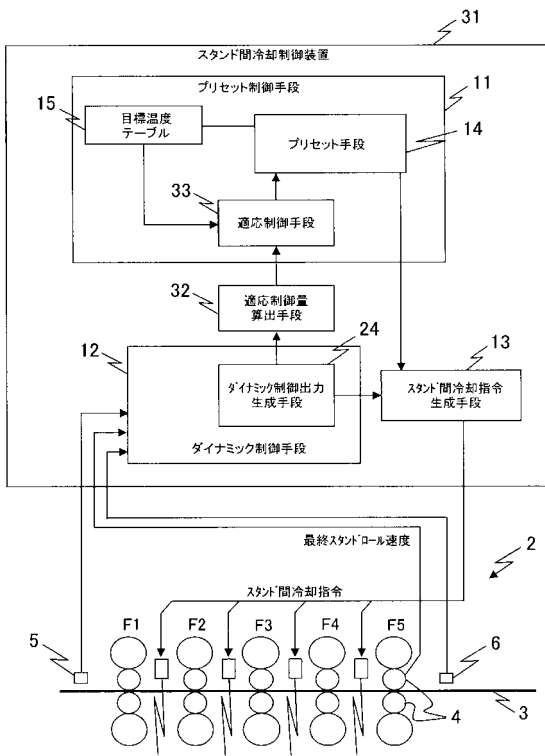
【図13】



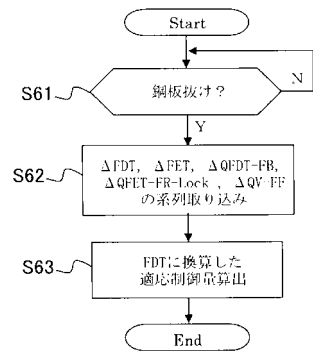
【図14】



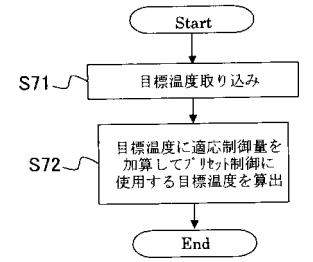
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平08 - 052507 (JP, A)
特開2007 - 210009 (JP, A)
特表2006 - 518670 (JP, A)
特開平07 - 075816 (JP, A)
特開2006 - 159261 (JP, A)
特開平10 - 043811 (JP, A)
特開昭55 - 084215 (JP, A)
特開平10 - 094814 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B21B 37/76
B21B 37/00
B21B 45/02