

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6435234号  
(P6435234)

(45) 発行日 平成30年12月5日(2018.12.5)

(24) 登録日 平成30年11月16日(2018.11.16)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 1 B 37/74 (2006.01)

B 2 1 B 37/74

A

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2015-102746 (P2015-102746)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成27年5月20日 (2015.5.20)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2016-215237 (P2016-215237A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成28年12月22日 (2016.12.22)	(74) 代理人	110001807
審査請求日	平成29年8月1日 (2017.8.1)		特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	鹿山 昌宏
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	朴 ミンソク
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	林 剛賢
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置およびその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

鋼板を連続して圧延する複数の圧延スタンドと、前記圧延スタンドの互いに隣接する2つの圧延スタンドの間に設置され、前記鋼板を冷却するスタンド間冷却装置と、を備える熱間圧延仕上げミルで圧延される前記鋼板の前記熱間圧延仕上げミルの出側での鋼板温度を制御する熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置であって、

前記圧延される鋼板の鋼板温度を推定する板温推定モデルを記憶した板温推定モデル記憶部と、

前記鋼板の圧延に先立って、予め設定された前記鋼板の速度パターンの圧延速度と前記スタンド間冷却装置から注水される冷却水量と前記熱間圧延仕上げミルの入側の鋼板温度と前記板温推定モデルとに基づき前記熱間圧延仕上げミルの出側の鋼板温度を推定し、前記推定結果に基づき前記出側の鋼板温度が予め定められた目標温度と一致するように前記冷却水量をプリセットする冷却水量プリセット部と、

前記鋼板が実際に圧延されているときに、前記圧延スタンドで検出される圧延速度が前記速度パターンの圧延速度から変化する圧延速度の変化量を取得し、前記圧延速度の変化量が前記鋼板の材質特性値に及ぼす影響を低減させるための前記鋼板の出側の目標温度の補正量を算出する目標温度補正量算出部と、

前記鋼板が実際に圧延されているときに、前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量を算出し、前記冷却水量プリセット部でプリセットされた前記冷却水量を前記算出した冷却水量の変化量で補正した冷却水量を、前記スタンド間冷却装置に

10

20

出力する冷却水量指令部と、  
を備えること  
を特徴とする熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置。

【請求項 2】

上位コンピュータから取得された前記鋼板の化学組成、加熱履歴および圧延履歴を含む情報、ならびに、前記冷却水量プリセット部で推定された前記出側の鋼板温度および圧延速度に基づき、前記熱間圧延仕上げミルの出側における前記鋼板の材質特性値として、オーステナイト粒径と転位密度の少なくとも一方を算出する材質予測部と、

前記材質予測部が前記鋼板の圧延速度を変化させて算出した前記材質特性値の差に基づき、前記圧延速度の変化量が前記材質特性値に及ぼす影響を第 1 の影響係数として算出し、前記材質予測部が前記出側の鋼板温度を変化させて算出した前記材質特性値の差に基づき、前記出側の鋼板温度の変化量が前記材質特性値に及ぼす影響を第 2 の影響係数として算出する影響係数算出部と、

をさらに備え、

前記目標温度補正量算出部は、

前記圧延速度の変化量と、前記第 1 の影響係数と、前記第 2 の影響係数と、に基づき、前記鋼板の出側の目標温度の補正量を算出すること

を特徴とする請求項 1 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置。

【請求項 3】

前記目標温度補正量算出部で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量を減少させるような前記冷却水量の変化量を算出するフィードフォワード制御部をさらに備え、

前記冷却水量指令部が算出する前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量として、前記フィードフォワード制御部で算出された前記冷却水量の変化量を用いること

を特徴とする請求項 1 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置。

【請求項 4】

前記目標温度補正量算出部で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量と前記冷却水量プリセット部で用いられた前記鋼板の出側の目標温度とに基づき、実際の制御に用いる前記鋼板の出側の目標温度を算出する制御指令温度算出部と、

前記制御指令温度算出部で算出された前記鋼板の出側の目標温度と前記熱間圧延仕上げミルの出側で測定された前記鋼板の温度との差を減少させるような前記冷却水量の変化量を算出するフィードバック制御部と、

をさらに備え、

前記冷却水量指令部が算出する前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量として、前記フィードバック制御部で算出された前記冷却水量の変化量を用いること

を特徴とする請求項 1 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置。

【請求項 5】

前記目標温度補正量算出部で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量を減少させるような前記冷却水量の第 1 の変化量を算出するフィードフォワード制御部と、

前記目標温度補正量算出部で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量と前記冷却水量プリセット部で用いられた前記鋼板の出側の目標温度とに基づき、実際の制御に用いる前記鋼板の出側の目標温度を算出する制御指令温度算出部と、

前記制御指令温度算出部で算出された前記鋼板の出側の目標温度と前記熱間圧延仕上げミルの出側で測定された前記鋼板の温度との差を減少させるような前記冷却水量の第 2 の変化量を算出するフィードバック制御部と、

をさらに備え、

前記冷却水量指令部が算出する前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量として、前記冷却水量の第 1 の変化量と前記冷却水量の第 2 の変化量とにそれぞれに重みを付して加算した量を用いること

を特徴とする請求項 1 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置。

【請求項 6】

鋼板を連続して圧延する複数の圧延スタンドと、前記圧延スタンドの互いに隣接する 2 つの圧延スタンドの間に設置され、前記鋼板を冷却するスタンド間冷却装置と、を備えてなる熱間圧延仕上げミルで圧延される前記鋼板の前記熱間圧延仕上げミルの出側での鋼板温度を制御する制御装置による熱間圧延仕上げミル出側温度の制御方法であって、

前記制御装置は、

圧延される前記鋼板の板温を推定する板温推定モデルを記憶した板温推定モデル記憶部を有し、

前記鋼板の圧延に先立って、予め設定された前記鋼板の速度パターンの圧延速度と前記スタンド間冷却装置から注水される冷却水量と前記熱間圧延仕上げミルの入側の鋼板温度と前記板温推定モデルとに基づき前記熱間圧延仕上げミルの出側の鋼板温度を推定し、前記推定結果に基づき前記出側の鋼板温度が予め定められた目標温度と一致するように前記冷却水量をプリセットする冷却水量プリセット処理と、

前記鋼板が実際に圧延されているときに、前記圧延スタンドで検出される圧延速度が前記速度パターンの圧延速度から変化する圧延速度の変化量を取得し、前記圧延速度の変化量が前記鋼板の材質特性値に及ぼす影響を低減させるための前記鋼板の出側の目標温度の補正量を算出する目標温度補正量算出処理と、

前記鋼板が実際に圧延されているときに、前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量を算出し、前記冷却水量プリセット処理でプリセットされた前記冷却水量を前記算出した冷却水量の変化量で補正した冷却水量を、前記スタンド間冷却装置に出力する冷却水量指令処理と、

を実行すること

を特徴とする熱間圧延仕上げミル出側温度の制御方法。

【請求項 7】

前記制御装置は、

上位コンピュータから取得された前記鋼板の化学組成、加熱履歴および圧延履歴を含む情報、ならびに、前記冷却水量プリセット処理で推定された前記出側の鋼板温度および圧延速度に基づき、前記熱間圧延仕上げミルの出側における前記鋼板の材質特性値として、オーステナイト粒径と転位密度の少なくとも一方を算出する材質予測処理と、

前記材質予測処理において前記鋼板の圧延速度を変化させて算出した前記材質特性値の差に基づき、前記圧延速度の変化量が前記材質特性値に及ぼす影響を第 1 の影響係数として算出し、前記材質予測処理において前記出側の鋼板温度を変化させて算出した前記材質特性値の差に基づき、前記出側の鋼板温度の変化量が前記材質特性値に及ぼす影響を第 2 の影響係数として算出する影響係数算出処理と、

をさらに実行し、

前記目標温度補正量算出処理では、前記圧延速度の変化量と、前記第 1 の影響係数と、前記第 2 の影響係数と、に基づき、前記鋼板の出側の目標温度の補正量を算出すること

を特徴とする請求項 6 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度の制御方法。

【請求項 8】

前記制御装置は、

前記目標温度補正量算出処理で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量を減少させるような前記冷却水量の変化量を算出するフィードフォワード制御処理

をさらに実行し、

前記冷却水量指令処理で算出される前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量として、前記フィードフォワード制御処理で算出した前記冷却水量の変化量を用いること

を特徴とする請求項 6 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度の制御方法。

【請求項 9】

前記制御装置は、

前記目標温度補正量算出処理で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量と前記冷却水量プリセット処理で用いられた前記鋼板の出側の目標温度とに基づき、実際の制御に用いる前記鋼板の出側の目標温度を算出する制御指令温度算出処理と、

前記制御指令温度算出処理で算出された前記鋼板の出側の目標温度と前記熱間圧延仕上げミルの出側で測定された前記鋼板の温度との差を減少させるような前記冷却水量の変化量を算出するフィードバック制御処理と、

をさらに実行し、

前記冷却水量指令処理で算出される前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量として、前記フィードバック制御処理で算出した前記冷却水量の変化量を用いること

10

を特徴とする請求項 6 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度の制御方法。

#### 【請求項 10】

前記制御装置は、

前記目標温度補正量算出処理で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量を減少させるような前記冷却水量の第 1 の変化量を算出するフィードフォワード制御処理と、

前記目標温度補正量算出処理で算出された前記鋼板の出側の目標温度の補正量と前記冷却水量プリセット処理で用いられた前記鋼板の出側の目標温度とに基づき、実際の制御に用いる前記鋼板の出側の目標温度を算出する制御指令温度算出処理と、

前記制御指令温度算出処理で算出された前記鋼板の出側の目標温度と前記熱間圧延仕上げミルの出側で測定された前記鋼板の温度との差を減少させるような前記冷却水量の第 2 の変化量を算出するフィードバック制御処理と、

20

をさらに実行し、

前記冷却水量指令処理で算出される前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量として、前記冷却水量の第 1 の変化量と前記冷却水量の第 2 の変化量とにそれぞれに重みを付して加算した量を用いること

を特徴とする請求項 6 に記載の熱間圧延仕上げミル出側温度の制御方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、鋼板長手方向に均一な材質を得るために好適な熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置およびその制御方法に関する。

30

#### 【背景技術】

#### 【0002】

従来の熱間圧延仕上げミルの出側温度の制御方法は、上位コンピュータから受信した鋼板（コイル）に対応した仕上げミル出側温度目標値を実現するように圧延速度とスタンド間冷却水量を決定し、鋼板長手方向では、温度計で計測した仕上げミル出側温度が前記仕上げミル出側温度目標値に一致するように、圧延速度またはスタンド間冷却水量を補正する、というものであった。このような制御をした場合、熱間圧延仕上げミル入側の鋼板温度が時間経過に伴って低下するため、圧延が進むにつれ、圧延速度は徐々に速くなっていく。一方、鋼板の材質は、温度と圧延時のひずみ速度に依存するため、鋼板長手方向を均一な温度に制御すると、圧延速度が変わることにより各スタンドのひずみ速度が変わり、その結果、鋼板長手方向で材質がばらつく問題があった。

40

#### 【0003】

鋼板の仕上げミル出側における目標温度を圧延速度に応じて変更する従来技術として、例えば、特許文献 1 には、熱間連続圧延される鋼板の仕上げ出側温度として設定された目標温度を、鋼板の圧延速度の変化に応じて補正する手法が示されている。具体的には、

$T_f / V_a$ （ $T_f$ ：仕上げミル出側温度、 $V_a$ ：圧延速度）を用いて圧延速度が変化したときの仕上げミル出側温度の変化を予測する。そして、圧延速度が変化した場合、仕上げミル出側温度の目標値にその予測した仕上げミル出側温度の変化を加算して得られる仕上げミル出側温度を、制御の目標値として用いる。その結果、鋼板長手方向での温度の均一度

50

を高めることができるという。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平8-252624号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に開示された技術は、鋼板長手方向の温度の均一度を高めることを目的としたものであるため、鋼板長手方向の材質特性の均一化に対する配慮はなされていない。すなわち、圧延速度の変化により、各スタンドで鋼板が圧延されるときひずみ速度が変化するが、このひずみ速度の変化が材質特性に及ぼす影響の考慮はなされていない。

【0006】

本発明は、以上の従来技術の問題を解決するためになされたものであり、その目的は、鋼板の長手方向の材質特性を均一化することが可能な熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置およびその制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記本発明は、鋼板を連続して圧延する複数の圧延スタンドと、前記圧延スタンドの互いに隣接する2つの圧延スタンドの間に設置され、前記鋼板を冷却するスタンド間冷却装置と、を備えてなる熱間圧延仕上げミルで圧延される前記鋼板の前記熱間圧延仕上げミルの出側での鋼板温度を制御する熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置であって、前記圧延される鋼板の鋼板温度を推定する板温推定モデルを記憶した板温推定モデル記憶部と、前記鋼板の圧延に先立って、予め設定された前記鋼板の速度パターンの圧延速度と前記スタンド間冷却装置から注水される冷却水量と前記熱間圧延仕上げミルの入側の鋼板温度と前記板温推定モデルとに基づき前記熱間圧延仕上げミルの出側の鋼板温度を推定し、前記推定結果に基づき前記出側の鋼板温度が予め定められた目標温度と一致するように前記冷却水量をプリセットする冷却水量プリセット部と、前記鋼板が実際に圧延されているときに、前記圧延スタンドで検出される圧延速度が前記速度パターンの圧延速度から変化する圧延速度の変化量を取得し、前記圧延速度の変化量が前記鋼板の材質特性値に及ぼす影響を低減させるための前記鋼板の出側の目標温度の補正量を算出する目標温度補正量算出部と、前記鋼板が実際に圧延されているときに、前記鋼板の出側の目標温度の補正量に応じた前記冷却水量の変化量を算出し、前記冷却水量プリセット部でプリセットされた前記冷却水量を前記算出した冷却水量の変化量で補正した冷却水量を、前記スタンド間冷却装置に出力する冷却水量指令部と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、鋼板の長手方向の材質特性を均一化することが可能な熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置およびその制御方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置およびその制御対象の構成の例を示した図。

【図2】目標温度テーブル記憶部に記憶される目標温度テーブルの構成の例を示した図。

【図3】速度テーブル記憶部に記憶される速度テーブルの構成の例を示した図。

【図4】標準水量パターン記憶部23に記憶される標準水量パターンテーブルの構成の例を示した図。

【図5】冷却水量プリセット部が実行する冷却水量プリセット処理の処理フローの例を示した図。

10

20

30

40

50

【図 6】影響係数算出部が実行する影響係数算出処理の処理フローの例を示した図。

【図 7】材質予測部が実行する材質予測処理の処理フローの例を示した図。

【図 8】目標温度補正量算出部が実行する目標温度補正量算出処理の処理フローの例を示した図。

【図 9】制御指令温度算出部が実行する制御指令温度算出処理の処理フローの例を示した図。

【図 10】冷却水量指令部が実行する冷却水量指令処理の処理フローの例を示した図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

10

【0011】

図 1 は、熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 およびその制御対象 50 の構成の例を示した図である。ここで、上位コンピュータ 40 は、この次に圧延される鋼板 53 を制御するのに必要な情報（鋼板 53 の鋼種、化学組成、板厚、圧延速度、目標温度など）を熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 に送信する。熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 は、上位コンピュータ 40 から送信される鋼板 53 に関するこれらの材料情報や圧延指示情報を受信するとともに、制御対象 50 から送信される種々の信号に応じて、前記圧延指示情報を実現するための制御信号を制御対象 50 に出力する。

【0012】

まず、制御対象 50 の構成について説明する。本実施形態では、制御対象 50 は、熱間圧延設備であり、ここでは、鋼板 53 の仕上げ圧延をする熱間圧延仕上げミル 51 と圧延直後の鋼板 53 の温度（出側温度）を測定する仕上げミル出側温度計 60 とを含んで構成される。熱間圧延仕上げミル 51 は、例えば 6 つの圧延スタンド F1 ~ F6 を備え、それぞれの圧延ロール 59 で鋼板 53 を圧延する。鋼板 53 は、圧延スタンド F1 ~ F6 のそれぞれの圧延ロール 59 で圧延されながら、圧延スタンド F1 から F6 の方向（図では左から右）に移動する。

20

【0013】

圧延スタンド F1 ~ F6 のそれぞれの間、すなわち圧延スタンド F1 - F2 間、F2 - F3 間、F3 - F4 間、F4 - F5 間、F5 - F6 間のそれぞれには、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 が設けられている。スタンド間冷却装置 54 ~ 58 は、熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 からのスタンド間冷却水量指令に従って鋼板 53 に冷却水を注水し、鋼板 53 を冷却する。

30

【0014】

次に、熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 の構成について説明する。図 1 に示すように、熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 を構成する機能ブロックは、大きくは、プリセット制御部 10 とダイナミック制御部 30 とに分けられる。プリセット制御部 10 は、鋼板 53 が熱間圧延仕上げミル 51 で圧延されるのに先立ち、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 から注水する冷却水量をプリセットする。また、ダイナミック制御部 30 は、圧延対象の鋼板 53 が実際に圧延されているときに、圧延ロール 59 で検出される圧延速度や仕上げミル出側温度計 60 で検出される出側温度に応じ、プリセット制御部 10 でプリセットされたスタンド間冷却装置 54 ~ 58 から注水する冷却水量を、適宜変更する。

40

【0015】

プリセット制御部 10 は、冷却水量プリセット部 11、影響係数算出部 12、材質予測部 13、目標温度テーブル記憶部 21、速度テーブル記憶部 22、標準水量パターン記憶部 23、板温推定モデル記憶部 24 などを含んで構成される。また、ダイナミック制御部 30 は、目標温度補正量算出部 31、フィードフォワード制御部 32、制御指令温度算出部 33、フィードバック制御部 34、冷却水量指令部 35 などを含んで構成される。

【0016】

プリセット制御部 10 の目標温度テーブル記憶部 21、速度テーブル記憶部 22、標準

50

水量パターン記憶部 23 には、上位コンピュータ 40 から送信される鋼板 53 を制御するのに必要な情報が記憶される。また、板温推定モデル記憶部 24 には、鋼板 53 の熱間圧延仕上げミル 51 からの出側温度を推定するための各種モデル式などが記憶されている。

【0017】

冷却水量プリセット部 11 は、鋼板 53 の圧延に先立ち、標準水量パターン記憶部 23 から標準水量のデータを取り出し、板温推定モデル記憶部 24 に記憶されている板温推定モデルを用いた演算により、鋼板 53 の熱間圧延仕上げミル 51 からの出側温度を推定する。そして、その出側温度に基づき、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 から注水すべき冷却水量を算出し、算出した冷却水量をプリセット冷却水量として冷却水量指令部 35 に出力する。

10

【0018】

材質予測部 13 は、上位コンピュータ 40 から送信され、目標温度テーブル記憶部 21、速度テーブル記憶部 22、標準水量パターン記憶部 23 に記憶されている鋼板 53 の化学組成や圧延スケジュール、その圧延スケジュールを用いて算出される圧延スタンド F1 ~ F2 の圧下率や鋼板 53 の温度変化から、熱間圧延仕上げミル 51 の出側における鋼板 53 の材質特性を予測する。また、影響係数算出部 12 は、材質予測部 13 の計算結果に基づき、圧延速度または仕上げミル出側温度の変化と材質特性変化との関係を影響係数として算出する。

【0019】

目標温度補正量算出部 31 は、圧延ロール 59 から圧延速度の変化量を取得し、影響係数算出部 12 により算出された影響係数を用いて、材質を一定に保つための仕上げミル出側温度の目標温度の補正量を算出する。フィードフォワード制御部 32 は、目標温度補正量算出部 31 により算出された目標温度の補正量を用いてスタンド間冷却装置 54 ~ 58 の冷却水量の補正量を算出する。制御指令温度算出部 33 は、目標温度補正量算出部 31 により算出された目標温度の補正量を用いて実際に制御で用いる熱間圧延仕上げミル 51 の出側の指令温度を算出する。

20

【0020】

さらに、フィードバック制御部 34 は、制御指令温度算出部 33 により算出された指令温度と仕上げミル出側温度計 60 で検出された仕上げミル出側温度との偏差を小さくする方向にスタンド間冷却装置 54 ~ 58 の各冷却水量を変更する。冷却水量指令部 35 は、冷却水量プリセット部 11 から出力されたプリセット冷却水量と、フィードフォワード制御部 32 により算出された冷却水量の補正量と、フィードバック制御部 34 により算出された冷却水量の変更量とから、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 のそれぞれに最終的に出力する冷却水量を算出する。

30

【0021】

以上のような構成を有する熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 は、具体的なハードウェアとしては、図示しない演算処理装置と記憶装置とを備えたコンピュータやワークステーションによって実現される。そして、プリセット制御部 10 の冷却水量プリセット部 11、影響係数算出部 12、材質予測部 13、さらには、ダイナミック制御部 30 の目標温度補正量算出部 31、フィードフォワード制御部 32、制御指令温度算出部 33、フィードバック制御部 34、冷却水量指令部 35 などの機能ブロックは、前記演算処理装置が、半導体メモリやハードディスク装置などからなる前記記憶装置に格納されている所定のプログラムを実行することによって実現される。また、プリセット制御部 10 の目標温度テーブル記憶部 21、速度テーブル記憶部 22、標準水量パターン記憶部 23、板温推定モデル記憶部 24 などは、前記記憶装置の一部に割り当てられた領域に所定データが記憶されることによって実現される。

40

【0022】

図 2 は、目標温度テーブル記憶部 21 に記憶される目標温度テーブル 21T の構成の例を示した図である。図 2 に示すように、目標温度テーブル 21T は、圧延される鋼板 53 の種類（鋼種）それぞれについて、熱間圧延仕上げミル 51 の出側の目標温度が対応付け

50

られたテーブルである。図 2 に示した目標温度テーブル 2 1 T の例では、例えば、鋼種が S S 4 0 0 の鋼板 5 3 に対し、9 0 0 の目標温度が対応付けられている。

冷却水量プリセット部 1 1 は、鋼板 5 3 の鋼種を判定して、目標温度テーブル 2 1 T からその鋼種に対応する目標温度を抽出する。

【 0 0 2 3 】

図 3 は、速度テーブル記憶部 2 2 に記憶される速度テーブル 2 2 T の構成の例を示した図である。図 3 に示すように、速度テーブル 2 2 T は、圧延される鋼板 5 3 の鋼種、板厚、板幅の各組み合わせに対し、鋼板 5 3 の最終段の圧延スタンド F 6 における出側の圧延速度に関する初期速度、第 1 加速度、第 2 加速度、定常速度、減速度、終期速度などが対応付けられたテーブルである。ここで、初期速度は、鋼板 5 3 の先端が圧延スタンド F 6 から払い出されるとき

10

【 0 0 2 4 】

図 3 に示した速度テーブル 2 2 T の例では、例えば、鋼種が S S 4 0 0、板厚が 1 . 4 mm 以下、板幅が 1 0 0 0 ~ 1 4 0 0 mm の鋼板 5 3 については、6 5 0 m p m (meter per minute) の初期速度、2 m p m / s (meter per minute per second) の第 1 加速度、1 2 m p m / s の第 2 加速度、1 0 5 0 m p m の定常速度、3 0 m p m / s の減速度および 9 0 0 m p m の終期速度が対応付けられている。

20

【 0 0 2 5 】

なお、圧延スタンド F 6 から払い出されるとき

【 0 0 2 6 】

図 4 は、標準水量パターン記憶部 2 3 に記憶される標準水量パターンテーブル 2 3 T の構成の例を示した図である。図 4 に示すように、標準水量パターンテーブル 2 3 T は、圧延される鋼板 5 3 の鋼種、板厚、板幅の各組み合わせに対し、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 からそれぞれ注水される冷却水量の初期値である標準水量パターンが対応付けられたテーブルである。なお、ここでいう冷却水量の初期値は、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 それぞれの最大冷却水量に対する百分比 ( パーセント ) で表わされるものとしている。

30

【 0 0 2 7 】

図 4 に示した標準水量パターンテーブル 2 3 T の例では、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 の鋼板 5 3 については、スタンド間冷却装置 5 4 , 5 5 , 5 6 , 5 7 , 5 8 の冷却水量の初期値 ( すなわち、標準水量パターン ) として、それぞれ 8 0 %、7 0 %、5 0 %、0 % ( 無注水 )、0 % ( 無注水 ) が対応付けられている。

40

【 0 0 2 8 】

なお、標準水量パターンテーブル 2 3 T の内容、すなわち、スタンド間冷却装置 5 4 , 5 5 , 5 6 , 5 7 , 5 8 の冷却水量の初期値 ( 標準水量パターン ) は、鋼板 5 3 の鋼種、板厚、板幅に応じて、シミュレーションや実際の圧延実績により予め決定される。このとき、その標準水量パターンは、鋼板 5 3 の初期速度と、熱間圧延仕上げミル 5 1 の入側で想定した鋼板先端温度の下で、仕上げミル出側温度の目標温度を概ね満足し、かつ、各圧延スタンド F 1 ~ F 6 での圧延に伴う温度降下パターンが所望のパターンになるように定められる。

【 0 0 2 9 】

図 5 は、冷却水量プリセット部 1 1 が実行する冷却水量プリセット処理の処理フローの

50



例を示した図である。図 5 に示すように、冷却水量プリセット部 11 は、まず、目標温度テーブル 21T および速度テーブル 22T を参照して、次に圧延する予定の鋼板 53 の鋼種、板厚、板幅に対応する目標温度および初期速度を取得する（ステップ S11）。さらに、冷却水量プリセット部 11 は、標準水量パターンテーブル 23T を参照して、当該鋼板 53 の鋼種、板厚、板幅に対応する標準水量パターンを取得する（ステップ S12）。

#### 【0030】

続いて、冷却水量プリセット部 11 は、前記取得した目標温度、初期速度および標準水量パターンの条件の下で、仕上げミル出側温度（Finishing mill Delivery Temperature、以下、FDT という）の予測計算を行う（ステップ S13）。前記したように、鋼板 53 が圧延スタンド F1～F6 で圧延され、スタンド間冷却装置 54～58 から冷却水が注水される場合について、鋼板 53 の温度を推定するのに必要な各種の計算式が板温推定モデルとして板温推定モデル記憶部 24 に記憶されている。そこで、冷却水量プリセット部 11 は、この板温推定モデルに従って、鋼板 53 が圧延スタンド F1 から F6 まで移動する間に低下する温度を計算し FDT を得る。なお、このときの鋼板 53 の温度の初期値は、仕上げミル入側温度（Finishing mill Entry Temperature、以下、FET という）と呼ばれる。

#### 【0031】

この板温推定モデルには、鋼板 53 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 53 が圧延ロール 59 に接触したときに奪われる接触伝導熱、鋼板 53 と圧延ロール 59 の摩擦による摩擦発熱などを計算するためのモデルなどが含まれる。さらには、スタンド間冷却装置 54～58 からの注水による温度降下などを計算するモデルが含まれる。

#### 【0032】

以上のような発熱量や冷却量を計算するモデルとして、従来から種々のモデル式が検討されており、例えば「板圧延の理論と実際」（日本鉄鋼協会編、1984 年）には、その詳細な例が示されている。

#### 【0033】

ここでは、鋼板 53 からの熱輻射による熱伝達係数  $h_r$  を計算するモデル式の一例を式（1）に示す。

$$h_r = \cdot \cdot [ \{ (273 + T_{su}) / 100 \}^4 - \{ (273 + T_a) / 100 \}^4 ] / (T_{su} - T_a) \quad (1)$$

ただし  $\sigma$  : ステファンボルツマン定数（=4.88）

$\epsilon$  : 放射率

$T_a$  : 空気温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）

$T_{su}$  : 鋼板の表面温度（鋼板温度）

#### 【0034】

鋼板 53 は、圧延スタンド F1～F6 間を単に移動するだけでも、式（1）の熱伝達係数  $h_r$  に従って熱が奪われる。また、鋼板 53 がスタンド間冷却装置 54～58 で冷却される場合には、注水された冷却水量に応じて熱が奪われる。この場合のモデル式についても、前出の「板圧延の理論と実際」（日本鉄鋼協会編、1984 年）に示されているので、その再掲を省略する。

#### 【0035】

また、ここでは、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一括して熱伝達係数に置き換え、一定の時間  $\Delta t$  の間に鋼板 53 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 53 の温度をもとに、次の式（2）により時間  $\Delta t$  の間の熱量の移動を加減算する。

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

10

20

30

40

50

ただし  $T_n$  : 現在の板温  
 $T_{n-1}$  : 時間 前の板温 (鋼板温度)  
 $h_t$  : 鋼板表面の熱伝達係数  
 $h_b$  : 鋼板裏面の熱伝達係数  
 $\rho$  : 鋼板の密度  
 $C$  : 鋼板の比熱  
 $B$  : 鋼板厚み

#### 【 0 0 3 6 】

また、鋼板 5 3 の厚み方向の熱伝導を考慮する必要がある場合には、よく知られた熱方程式を解くことで計算できる。熱方程式は、例えば、次の式 ( 3 ) で表され、これをコンピュータで差分計算する方法は、種々の技術文献で公開されている。

10

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left\{ \frac{k}{\rho \cdot C} \right\} \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (3)$$

ただし  $k$  : 熱伝導率  
 $T$  : 鋼板温度  
 $x$  : 厚み方向の位置  
 $t$  : 時間

#### 【 0 0 3 7 】

図 5 の冷却水量プリセット処理の説明に戻る。冷却水量プリセット部 1 1 は、ステップ S 1 3 では、鋼板 5 3 のある部分が圧延スタンド F 1 に噛み込まれてから圧延スタンド F 6 を抜けるまでの間、時間を進ませながら以上の式 ( 1 )、( 2 ) を計算することで、鋼板 5 3 のその部分の F D T を予測することができる。

20

#### 【 0 0 3 8 】

次に、冷却水量プリセット部 1 1 は、ステップ S 1 3 で予測された F D T が目標温度に対して既定の範囲 (  $\pm$  : は、予め定められた正の温度値で、例えば、1 ) に入っているか否かを判定する (ステップ S 1 4 )。その判定の結果、予測された F D T が目標温度に対して既定の範囲 (  $\pm$  ) に入っている場合には (ステップ S 1 4 で Yes)、冷却水量プリセット部 1 1 は、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 のそのときの冷却水の水量を維持する (ステップ S 1 5 )。

30

#### 【 0 0 3 9 】

一方、予測された F D T が目標温度に対して既定の範囲 (  $\pm$  ) に入っていない場合には (ステップ S 1 4 で No)、冷却水量プリセット部 1 1 は、 $F D T > \text{目標温度} +$  であるとき、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 の冷却水の水量を増加させ、 $F D T < \text{目標温度} -$  であるとき、その冷却水の水量を減少させる (ステップ S 1 6)。ここで、冷却水の水量の増減させる場合、全てのスタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 について、その冷却の水量を増減させてもよいし、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 から選択された一部のものについて、その冷却水の水量を増減させてもよい。

#### 【 0 0 4 0 】

次に、冷却水量プリセット部 1 1 は、終了条件を満たすか否かを判定し (ステップ S 1 7)、終了条件を満たしていない場合には (ステップ S 1 7 で No)、ステップ S 1 3 に戻り、ステップ S 1 3 以下の処理を繰り返して実行する。ここでいう終了条件とは、ステップ S 1 3, S 1 4, S 1 6 を繰り返した回数が既定の上限値を超えることなどをいう。通常、ステップ S 1 3, S 1 4, S 1 6 の繰り返し処理は、ステップ S 1 4 の判定で F D T が目標温度に対して既定の範囲 (  $\pm$  ) に入ることにより解消されるが、それができない場合、ステップ S 1 7 の判定で繰り返し処理を解消させる。

40

#### 【 0 0 4 1 】

冷却水量プリセット部 1 1 は、ステップ S 1 5 の次には、または、ステップ S 1 7 の判定で終了条件を満たした場合には (ステップ S 1 7 で Yes)、速度テーブル 2 2 T で定められた加速レート (第 1 加速度、第 2 加速度)、定常速度などに従って鋼板 5 3 の速度

50

パターンを決定する（ステップ S 1 8）。

【 0 0 4 2 】

以上の処理により、冷却水量プリセット部 1 1 は、次に圧延する予定の鋼板 5 3 に対するスタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 それぞれの冷却水量を決定されたことになるので、その決定した冷却水量をプリセット冷却水量として冷却水量指令部 3 5 に出力し（ステップ S 1 9）、当該冷却水量プリセット処理を終了する。

【 0 0 4 3 】

なお、図 5 に示した処理フローでは、鋼板 5 3 の初期速度を一定とし、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 から注水する冷却水の水量を変化させ、F D T を予測する方法を示したが、次のような別法もある。すなわち、鋼板 5 3 の加速度  $V_r$  は、鋼板 5 3 の先端からの F E T 降下率  $F E T_r$  に従って、次の式（ 4 ）を用いて算出することができる。

$$V_r = (V / F D T) \cdot (F D T / F E T) \cdot F E T_r \quad (4)$$

ここで、 $(V / F D T)$ 、 $(F D T / F E T)$ ：影響係数（定数：影響係数については、後記にて詳しく説明する。）

【 0 0 4 4 】

つまり、冷却水量プリセット部 1 1 は、スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 への冷却水量指令を一定とし、鋼板 5 3 の初期速度を増減させることにより、目標の F D T に対応した初期速度指令を得ることができる。その場合には、ステップ S 1 6 の処理を、F D T が目標温度 - より低いときは、初期速度を速くし、F D T が目標温度 + より高いときは初期速度を遅くする処理に置き換えれば、そのまま図 5 の処理フローを用いることができる。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、影響係数算出部 1 2 が実行する影響係数算出処理の処理フローの例を示した図である。図 6 に示すように、影響係数算出部 1 2 は、まず、鋼板 5 3 の予め定められた計算ポイントの部位ついて熱間圧延仕上げミル 5 1 の出側の目標温度である F D T t とその部位が圧延されるとききの圧延速度  $V$  とを特定し、材質予測処理を実行する（ステップ S 2 1）。ここで、圧延速度  $V$  としては、これを代表する値として最終段の圧延スタンド F 6 の圧延ロール 5 9 の周速が用いられ、基準圧延速度と呼ばれる。なお、材質予測処理は、材質予測部 1 3 が実行する処理であり、別途、図 7 を参照して詳しく説明する。

【 0 0 4 6 】

次に、影響係数算出部 1 2 は、材質予測処理の処理結果として、圧延速度  $V$  に対応した鋼板 5 3 のオーステナイト粒径  $d_1$  および転位密度  $\rho_1$  を得る（ステップ S 2 2）。

【 0 0 4 7 】

次に、影響係数算出部 1 2 は、基準圧延速度  $V$  を  $V$  増加させ、すなわち圧延速度  $V = V + \Delta V$  とし、材質予測処理を実行する（ステップ S 2 3）。そして、その処理結果として、圧延速度  $V + \Delta V$  に対応した鋼板 5 3 のオーステナイト粒径  $d_2$  および転位密度  $\rho_2$  を得る（ステップ S 2 4）。

【 0 0 4 8 】

次に、影響係数算出部 1 2 は、次の式（ 5 - 1 ）および（ 5 - 2 ）で定義される第 1 の影響係数を算出する。すなわち、圧延速度の変化量  $\Delta V$  に対する、オーステナイト粒径の変化率（ $d_2 / d_1$ ）および転位密度の変化率（ $\rho_2 / \rho_1$ ）を算出する（ステップ S 2 5）。

$$(d_2 / d_1) = (d_2 - d_1) / d_1 \quad (5 - 1)$$

$$(\rho_2 / \rho_1) = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1 \quad (5 - 2)$$

【 0 0 4 9 】

さらに、影響係数算出部 1 2 は、F D T t を F D T t 増加させた温度を熱間圧延仕上げミル 5 1 の出側温度とし、すなわち、F D T t = F D T t +  $\Delta T$  とし、材質予測部 1 3 を実行する（ステップ S 2 6）。そして、その処理結果として、F D T t +  $\Delta T$

T tに対応した鋼板 5 3 のオーステナイト粒径  $d_3$  および転位密度  $\rho_3$  を得る (ステップ S 2 7)。

【 0 0 5 0 】

次に、影響係数算出部 1 2 は、次の式 ( 6 - 1 ) および ( 6 - 2 ) で定義される第 2 の影響係数を算出する。すなわち、F D T の変化量  $\Delta F D T$  に対する、オーステナイト粒径の変化率 (  $\Delta d_3 / d_1$  ) および転位密度の変化率 (  $\Delta \rho_3 / \rho_1$  ) を算出する (ステップ S 2 8)。

$$\left( \frac{\Delta d_3}{d_1} \right) = (d_3 - d_1) / F D T \quad (6 - 1)$$

$$\left( \frac{\Delta \rho_3}{\rho_1} \right) = (\rho_3 - \rho_1) / F D T \quad (6 - 2)$$

10

【 0 0 5 1 】

次に、影響係数算出部 1 2 は、鋼板 5 3 の長手方向の予め定められた計算ポイントのすべてで、式 ( 5 - 1 )、( 5 - 2 )、( 6 - 1 )、( 6 - 2 ) で定義される第 1、第 2 の影響係数の計算が完了したか否かを判定する (ステップ S 2 9)。その判定の結果、これらの影響係数の計算がすべての計算ポイントで完了していない場合には (ステップ S 2 9 で N o)、未完の計算ポイントについてステップ S 2 1 ~ S 2 9 の処理を繰り返し実行する。また、計算ポイントすべてでこれら第 1、第 2 の影響係数の計算が完了している場合には (ステップ S 2 9 で Y e s)、当該影響係数算出処理を終了する。

【 0 0 5 2 】

なお、計算ポイントとしては、鋼板 5 3 の速度変化に対応して、先端、中央、尾端の 3 点を選択することができる。また、簡単のため、鋼板 5 3 の長手方向を代表する 1 点 (例えば、中央) としてもよい。さらに、速度変化の大きい薄板 (例えば、圧延後の鋼板 5 3 の板厚が 1 . 8 mm 程度以下の鋼板 5 3) では計算ポイントを多くし、厚板では計算ポイントを少なくしてもよい。

20

以下、本実施形態では、説明が煩雑になるのを避けるため、計算ポイントは鋼板 5 3 の先端の 1 点であるとする。

【 0 0 5 3 】

図 7 は、材質予測部 1 3 が実行する材質予測処理の処理フローの例を示した図である。この材質予測処理は、図 6 に示した影響係数算出処理の中で起動され、熱間圧延仕上げミル 5 1 の出側における鋼板 5 3 のオーステナイト粒径  $d_3$  および転位密度  $\rho_3$  を計算し、その結果を影響係数算出処理に報告する処理である。

30

【 0 0 5 4 】

図 7 に示すように、材質予測部 1 3 は、まず、影響係数算出処理 (図 6 参照) で特定される圧延速度 V および F D T t を取得する (ステップ S 3 1)。そして、材質予測部 1 3 は、上位コンピュータ 4 0 から仕上げ圧延の前工程である粗圧延などでの当該鋼板 5 3 の過熱履歴や圧延履歴などの情報を取得する (ステップ S 3 2)。さらに、材質予測部 1 3 は、冷却水量プリセット処理 (図 5 参照) で予測された鋼板 5 3 の温度変化などの情報を取得する (ステップ S 3 3)。

【 0 0 5 5 】

続いて、材質予測部 1 3 は、前記特定された圧延速度 V および F D T t の条件で圧延されたときの熱間圧延仕上げミル 5 1 の出側におけるオーステナイト粒径  $d_3$  および転位密度  $\rho_3$  を予測計算する (ステップ S 3 4)。そして、その予測計算の結果を影響係数算出処理に報告し (ステップ S 3 5)、当該材質予測処理を終了する。

40

【 0 0 5 6 】

なお、熱間圧延仕上げミル 5 1 出側のオーステナイト粒径  $d_3$  および転位密度  $\rho_3$  は、鋼板 5 3 の鋼種や化学組成に加え、仕上げ工程のみならず前工程での加熱履歴、加熱後の温度低下履歴、圧延温度、圧延時の変形速度などの情報を用いることで算出できる。その算出方法の詳細は、例えば「材料機能創出 F E M 解析技術検討会報告書」(社団法人日本鉄鋼協会：生産技術部門圧延理論部会材料機能創出 F E M 解析技術検討会、2 0 0 1 年 6 月) に記載されている。

50

## 【 0 0 5 7 】

図 8 は、目標温度補正量算出部 3 1 が実行する目標温度補正量算出処理の処理フローの例を示した図である。図 8 に示すように、目標温度補正量算出部 3 1 は、まず、熱間圧延仕上げミル 5 1 の最終段の圧延スタンド F 6 のロール速度を取得し（ステップ S 4 1）、そのロール速度の基準圧延速度 V からの変化量  $\Delta V$  を算出する（ステップ S 4 2）。

## 【 0 0 5 8 】

続いて、目標温度補正量算出部 3 1 は、鋼板 5 3 の圧延速度の変化による材質特性の変化を低減し、その材質特性を長手方向で均一にするための F D T t の補正量  $F D T t$  を、次の式（ 7 ）に従って計算する（ステップ S 4 3）。

$$F D T t = \{ \alpha \cdot (\Delta V / V) / (\Delta V / V_{FDT}) + (1 - \alpha) \cdot (\Delta V / V) / (\Delta V / V_{FDT}) \} \cdot V \quad (7)$$

ここで、 $\alpha$  : 定数（ 0 ~ 1 ）

## 【 0 0 5 9 】

なお、定数  $\alpha$  は、圧延速度 V の変化が熱間圧延仕上げミル 5 1 の出側の材質特性に与える影響について、オーステナイト粒径  $d$  と転位密度  $\rho$  のそれぞれにどの程度配慮するかを比率で表した定数である。ちなみに、定数  $\alpha$  が 1 のとき、オーステナイト粒径  $d$  が一定になるように  $F D T t$  を算出し、定数  $\alpha$  が 0 のとき、転位密度  $\rho$  が一定になるように  $F D T t$  を算出する。また、定数  $\alpha$  が 0 ~ 1 の中間値のときには、定数  $\alpha$  の値に応じた比率で両者が按分される。

## 【 0 0 6 0 】

目標温度補正量算出部 3 1 は、ステップ S 4 3 で計算した  $F D T t$  の補正量  $F D T t$  をフィードフォワード制御部 3 2 および制御指令温度算出部 3 3 へ出力し（ステップ S 4 4）、当該目標温度補正量算出処理を終了する。

## 【 0 0 6 1 】

図 9 は、制御指令温度算出部 3 3 が実行する制御指令温度算出処理の処理フローの例を示した図である。図 9 に示すように、制御指令温度算出部 3 3 は、冷却水量プリセット部 1 1 から目標温度である  $F D T t$  を取得し（ステップ S 5 1）、さらに、目標温度補正量算出部 3 1 から出力される  $F D T t$  の補正量  $F D T t$  を取得する（ステップ S 5 2）。

## 【 0 0 6 2 】

続いて、制御指令温度算出部 3 3 は、実際の制御に用いる熱間圧延仕上げミル 5 1 の出側の目標温度である  $F D T t c$  を、次に式（ 8 ）に従ってリアルタイムで計算する（ステップ S 5 3）。

$$F D T t c = F D T t + \beta \cdot F D T t \quad (8)$$

ここで、 $\beta$  : 補正ゲイン（ 0 ~ 1 ）

## 【 0 0 6 3 】

次に、制御指令温度算出部 3 3 は、その計算で得られた目標温度  $F D T t c$  をフィードバック制御部 3 4 に出力し（ステップ S 5 4）、当該制御指令温度算出処理を終了する。

## 【 0 0 6 4 】

フィードフォワード制御部 3 2（処理フローの図示を省略）は、目標温度補正量算出部 3 1 から目標温度  $F D T t$  の補正量  $F D T t$  を受け取り、鋼板 5 3 の仕上げミル出側温度がその補正量に応じて変化するような冷却水量の変化量を算出する。簡単のために、各スタンド間冷却装置 5 4 ~ 5 8 での冷却水量の変化量を同じとした場合には、その冷却水量の変化量  $Q_{FF}$  は、例えば、次の式（ 9 ）により計算することができる。

$$Q_{FF} = a_1 \cdot (Q / F D T) \cdot F D T t \quad (9)$$

ここで、 $a_1$  : 制御ゲイン

10

20

30

40

50

$Q / FDT$  :  $FDT$  の変化を打消す水量を表した影響係数 (定数)

【0065】

フィードバック制御部 34 (処理フローの図示を省略) は、仕上げミル出側温度計 60 から鋼板 53 の実測温度  $FDTa$  を取得し、この実測温度  $FDTa$  と制御指令温度算出部 33 から取り込んだ目標温度  $FDTtc$  との偏差  $FDTa$  を解消するような冷却水量の変化量を算出する。ここでも、簡単のために、各スタンド間冷却装置 54 ~ 58 での冷却水量の変化量を同じとした場合には、その冷却水量の変化量  $Q_{FB}$  は、例えば、次の式 (10) により計算することができる。

$$Q_{FB} = a_2 \cdot (Q / FDT) \cdot (FDTtc - FDTa) \quad (10) \quad 10$$

ここで、 $a_2$  : 制御ゲイン

【0066】

図 10 は、冷却水量指令部 35 が実行する冷却水量指令処理の処理フローの例を示した図である。図 10 に示すように、冷却水量指令部 35 は、まず、冷却水量プリセット部 11 からその冷却水量プリセット処理 (図 5 参照) によって各スタンド間冷却装置 54 ~ 58 に事前に設定された冷却水量を取得する (ステップ S61)。ここで、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 それぞれに設定された冷却水量  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  とし、その冷却水量の組  $Q_{set}$  を、次の式 (11) で表わす。

$$Q_{set} = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5) \quad (11) \quad 20$$

【0067】

次に、冷却水量指令部 35 は、フィードフォワード制御部 32 によって計算された冷却水量の変化量  $Q_{FF}$  を取得し (ステップ S62)、さらに、フィードバック制御部 34 によって計算された冷却水量の変化量  $Q_{FB}$  を取得する (ステップ S63)。

【0068】

続いて、冷却水量指令部 35 は、前記事前に設定された冷却水量  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  ( $Q_{set}$ ) を、フィードフォワード制御部 32 によって計算された冷却水量の変化量  $Q_{FF}$  およびフィードバック制御部 34 によって計算された冷却水量の変化量  $Q_{FB}$  を用いて補正する (ステップ S64)。そして、その補正された冷却水量をスタンド間冷却装置 54 ~ 58 への冷却指令  $Q_{cont}$  として、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 に出力する。すなわち、冷却指令  $Q_{cont}$  は、例えば、次の式 (12) のように表される。

$$Q_{cont} = (q_1 + Q_{FF} + Q_{FB}, q_2 + Q_{FF} + Q_{FB}, q_3 + Q_{FF} + Q_{FB}, q_4 + Q_{FF} + Q_{FB}, q_5 + Q_{FF} + Q_{FB}) \quad (12) \quad 30$$

【0069】

以上のように、式 (12) では、冷却指令  $Q_{cont}$  は、事前に設定された冷却水の水量  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  に、単に  $Q_{FF} + Q_{FB}$  を加算しただけのものとなっている。これは、フィードフォワードの制御量とフィードバックの制御量を等しい重みで取り扱ったものであるが、必ずしもこれらを等しい重みで取り扱う必要はない。すなわち、式 (11) の冷却指令  $Q_{cont}$  の計算では、 $Q_{FF}, Q_{FB}$  のそれぞれに、適宜、異なる値の重みを付してもよく、あるいは、 $Q_{FF}, Q_{FB}$  の一方を 0 (ゼロ) としてもよい。また、ここでは、スタンド間冷却装置 54 ~ 58 のそれぞれについての冷却水量の変化量  $Q_{FF}, Q_{FB}$  は、すべて同一の量としているが、それぞれが相違する量であっても構わない。

【0070】

以上、本実施形態では、鋼板 53 の圧延速度の変化による材質特性の変化を低減するよ 50

うな仕上げミル出側の目標温度  $FDTt$  の補正量  $FDTt$  が計算される。そして、その補正量  $FDTt$  に応じて、予め設定されたスタンド間冷却装置 54 ~ 58 からの冷却水量が補正される。従って、本実施形態に係る熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置 100 は、圧延される鋼板 53 の長手方向の材質特性を均一化することができるという効果を奏する。

#### 【0071】

なお、以上に説明した実施形態では、次に圧延予定の鋼板 53 について、毎回、材質予測処理および影響係数算出処理を実行するものとしているが、いったん求めた影響係数については、そのときの鋼種、板厚、板幅、目標温度、圧延速度のパターン、加熱履歴などの条件に対応づけて記憶装置に記憶しておいてもよい。そして、別の鋼板 53 を圧延するとき、その条件に一致する影響係数が記憶装置に記憶されていた場合には、材質予測処理および影響係数算出処理を実行することなく、その記憶されている影響係数を用いてもよい。

10

#### 【0072】

本発明は、以上に説明した実施形態に限定されるものでなく、さらに様々な変形例が含まれる。前記の実施形態は、本発明を分かりやすく説明するために、詳細に説明したものであり、必ずしも説明したすべての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成の一部で置き換えることが可能であり、さらに、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成の一部または全部を加えることも可能である。

20

#### 【符号の説明】

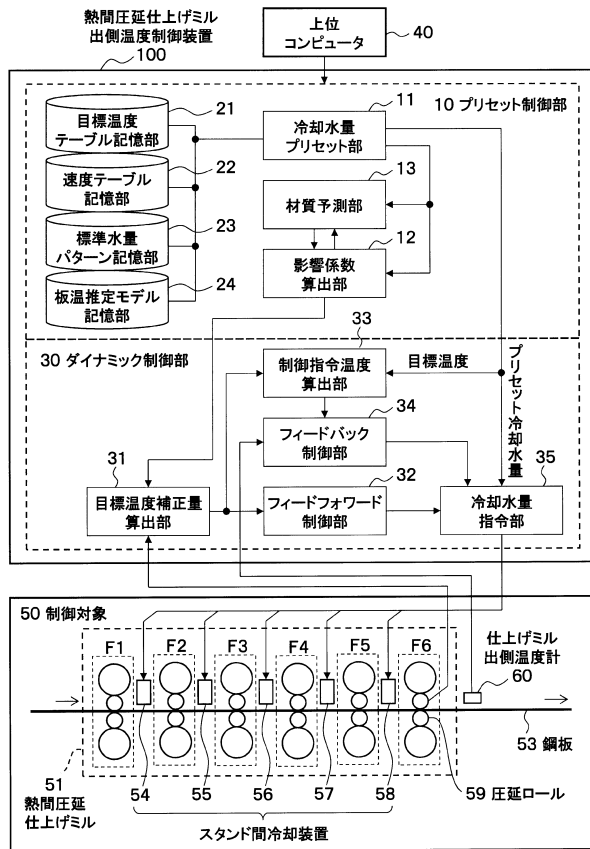
#### 【0073】

- 10      プリセット制御部
- 11      冷却水量プリセット部
- 12      影響係数算出部
- 13      材質予測部
- 21      目標温度テーブル記憶部
- 21T     目標温度テーブル
- 22      速度テーブル記憶部
- 22T     速度テーブル
- 23      標準水量パターン記憶部
- 23T     標準水量パターンテーブル
- 24      板温推定モデル記憶部
- 30      ダイナミック制御部
- 31      目標温度補正量算出部
- 32      フィードフォワード制御部
- 33      制御指令温度算出部
- 34      フィードバック制御部
- 35      冷却水量指令部
- 40      上位コンピュータ
- 50      制御対象
- 51      熱間圧延仕上げミル
- 53      鋼板
- 54 ~ 58    スタンド間冷却装置
- 59      圧延ロール
- 60      仕上げミル出側温度計
- 100     熱間圧延仕上げミル出側温度制御装置
- F1 ~ F6    圧延スタンド

30

40

【図 1】



【図 2】

21T 目標温度テーブル

鋼種	目標温度 (°C)
SS400	900
SUS306	880
DP	870
...	...

【図 3】

22T 速度テーブル

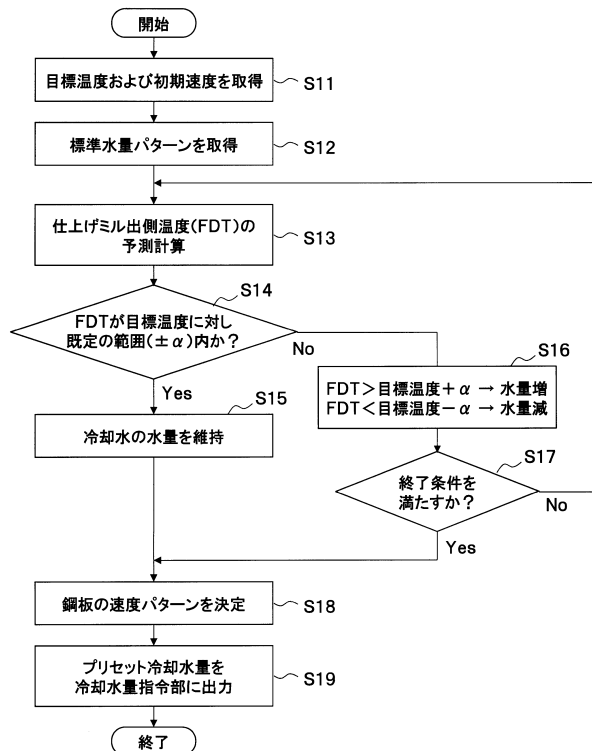
鋼種	板厚 (mm)	板幅 (mm)	初期速度 (mpm)	第1加速度 (mpm/s)	第2加速度 (mpm/s)	定常速度 (mpm)	減速度 (mpm/s)	終期速度 (mpm)
SS400	~1.4	~1000	650	2	12	1100	30	900
		1000~1400	650	2	12	1050	30	900
		1400~	650	2	12	1000	30	900
	12.0~	...	...	...	...	...	...	...
		...	...	...	...	...	...	...
		...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

【図 4】

23T 標準水量パターンテーブル

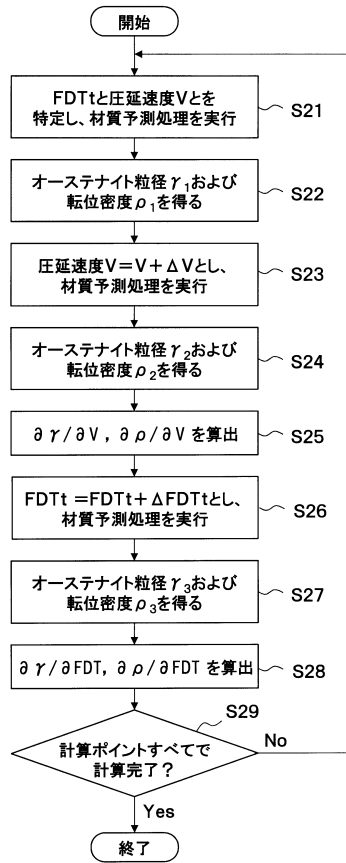
鋼種	板厚 (mm)	板幅 (mm)	F1-F2 (%)	F2-F3 (%)	F3-F4 (%)	F4-F5 (%)	F5-F6 (%)
SS400	~1.4	900	80	70	50	0	0
		1200	90	70	40	0	0
		1500	100	100	0	0	0
	3.0~4.0	900	80	60	50	10	0
		1200	80	70	50	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...

【図 5】

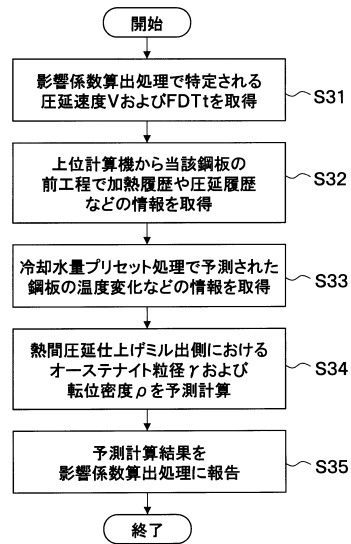




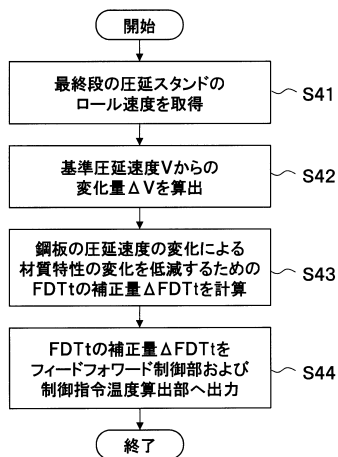
【図 6】



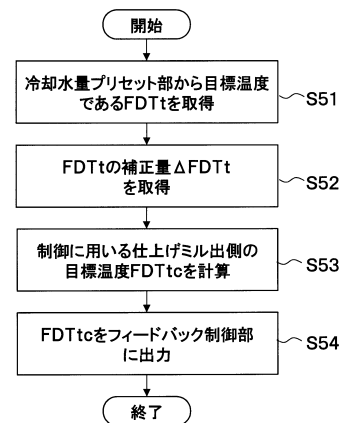
【図 7】



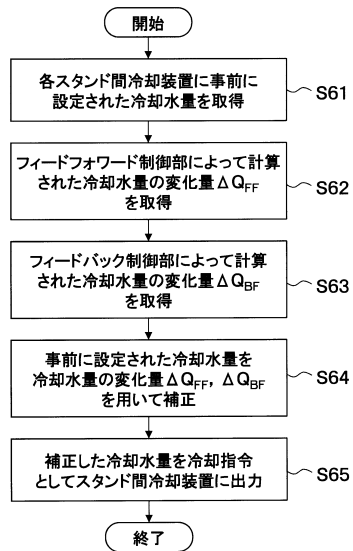
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

審査官 藤長 千香子

- (56)参考文献 特開2014-133246(JP,A)  
特表2005-510359(JP,A)  
特表2006-505409(JP,A)  
特開昭56-071511(JP,A)  
特開平08-252624(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B21B 37/00 - 37/78