

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6308927号  
(P6308927)

(45) 発行日 平成30年4月11日(2018.4.11)

(24) 登録日 平成30年3月23日(2018.3.23)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 1 B 37/18 (2006.01)

B 2 1 B 37/18 1 1 O A

B 2 1 B 37/48 (2006.01)

B 2 1 B 37/18 1 3 O A

B 2 1 B 37/48 Z

請求項の数 10 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2014-231991 (P2014-231991)  
 (22) 出願日 平成26年11月14日(2014.11.14)  
 (65) 公開番号 特開2016-93828 (P2016-93828A)  
 (43) 公開日 平成28年5月26日(2016.5.26)  
 審査請求日 平成29年2月7日(2017.2.7)

(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  
 (74) 代理人 110000442  
 特許業務法人 武和国際特許事務所  
 (72) 発明者 服部 哲  
 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

審査官 酒井 英夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧延制御装置、圧延制御方法および圧延制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被圧延材をロール対で圧延する圧延機において前記ロール対のロール間の距離であるロールギャップを制御するロールギャップ制御部と、

前記圧延機に挿入される前記被圧延材の搬送速度を制御する速度制御部と、

前記被圧延材の張力に基づいて前記被圧延材の搬送速度を制御すると共に圧延された前記被圧延材の板厚に基づいて前記ロールギャップを制御する第1の制御方法と、前記被圧延材の張力に基づいて前記ロールギャップを制御すると共に圧延された前記被圧延材の板厚に基づいて前記被圧延材の搬送速度を制御する第2の制御方法とを切り替える制御方法切り替え部と、

前記第1の制御方法と前記第2の制御方法との切り替えに際して、前記被圧延材の張力の設定値と実測値との差である入側張力偏差から算出される制御値であって、前記被圧延材の張力に基づく制御のための制御値を小さくすることにより、前記被圧延材の張力に基づく制御を抑制する張力制御抑制部とを含むことを特徴とする圧延制御装置。

【請求項 2】

前記張力制御抑制部は、前記入側張力偏差を修正することにより、前記制御値を小さくすることを特徴とする請求項1に記載の圧延制御装置。

【請求項 3】

前記張力制御抑制部は、前記入側張力偏差が所定の範囲内である場合に、前記入側張力偏差をゼロに修正することを特徴とする請求項2に記載の圧延制御装置。

## 【請求項 4】

前記張力制御抑制部は、前記入側張力偏差が所定の範囲を超える場合に、前記入側張力偏差を、当該入側張力偏差から所定値を差し引いた値に修正することを特徴とする請求項 2 に記載の圧延制御装置。

## 【請求項 5】

前記所定の範囲を指定する張力制御抑制設定部をさらに含むことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の圧延制御装置。

## 【請求項 6】

前記張力制御抑制設定部は、前記第 1 の制御方法と前記第 2 の制御方法との切り替えに際して、前記被圧延材の搬送速度が加速中であるか減速中であるかに基づいて前記所定の範囲を指定することを特徴とする請求項 5 に記載の圧延制御装置。

10

## 【請求項 7】

前記張力制御抑制部は、前記第 1 の制御方法と前記第 2 の制御方法との切り替えの後、時間経過に応じて前記所定の範囲を狭めることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の圧延制御装置。

## 【請求項 8】

前記張力制御抑制部は、前記入側張力偏差に対するゲインを小さくすることにより、前記制御値を小さくすることを特徴とする請求項 1 に記載の圧延制御装置。

## 【請求項 9】

被圧延材をロール対で圧延する圧延機において前記ロール対のロール間の距離であるロールギャップを制御し、

20

前記圧延機に挿入される前記被圧延材の搬送速度を制御し、

前記被圧延材の張力に基づいて前記被圧延材の搬送速度を制御すると共に圧延された前記被圧延材の板厚に基づいて前記ロールギャップを制御する第 1 の制御方法と、前記被圧延材の張力に基づいて前記ロールギャップを制御すると共に圧延された前記被圧延材の板厚に基づいて前記被圧延材の搬送速度を制御する第 2 の制御方法とを切り替え、

前記第 1 の制御方法と前記第 2 の制御方法との切り替えに際して、前記被圧延材の張力の設定値と実測値との差である入側張力偏差から算出される制御値であって、前記被圧延材の張力に基づく制御のための制御値を小さくすることにより、前記被圧延材の張力に基づく制御を抑制することを特徴とする圧延制御方法。

30

## 【請求項 10】

被圧延材をロール対で圧延する圧延機において前記ロール対のロール間の距離であるロールギャップを制御するステップと、

前記圧延機に挿入される前記被圧延材の搬送速度を制御するステップと、

前記被圧延材の張力に基づいて前記被圧延材の搬送速度を制御すると共に圧延された前記被圧延材の板厚に基づいて前記ロールギャップを制御する第 1 の制御方法と、前記被圧延材の張力に基づいて前記ロールギャップを制御すると共に圧延された前記被圧延材の板厚に基づいて前記被圧延材の搬送速度を制御する第 2 の制御方法とを切り替えるステップと、

前記第 1 の制御方法と前記第 2 の制御方法との切り替えに際して、前記被圧延材の張力の設定値と実測値との差である入側張力偏差から算出される制御値であって、前記被圧延材の張力に基づく制御のための制御値を小さくすることにより、前記被圧延材の張力に基づく制御を抑制するステップとを情報処理装置に実行させることを特徴とする圧延制御プログラム。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、圧延制御装置、圧延制御方法および圧延制御プログラムに係わり、より詳細には複数の操作端及びフィードバックを有する圧延機の操作端及びフィードバックの選択に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0002】

被圧延材の巻出しおよび巻取りにテンションリールを用いる圧延機においては、テンションリールをトルク一定制御（電流一定制御）により動作させている。テンションリールをトルク一定制御する場合の問題点として、圧延機入側、出側の張力が変動すると、それを抑制するためにテンションリール速度変動が発生し、圧延機入側板速度が変化するため、出側板厚変動が発生する事があげられる。この対策として、テンションリール速度を操作端とする張力制御において、テンションリールを速度一定制御で動作させ、出側板厚変動を抑制するため、一定範囲の張力変動を許容することが行われている（例えば、特許文献1参照）。

10

## 【0003】

また、タンデム圧延機において、操業状態により圧延機の影響係数が大きく変化した場合に、制御状態量に対する制御操作端を適時変更することが行われている（例えば、特許文献2参照）。タンデム圧延機においては、通常は、後段スタンド圧下を制御操作端とするスタンド間張力制御、前段スタンド速度を制御操作端とする出側板厚制御を行っている。これに対して、特許文献2に開示された発明においては、圧延状態に応じて、後段スタンド圧下を制御操作端とする出側板厚制御、前段スタンド速度を制御操作端とする張力制御を行うことで板厚制御および張力制御の効果を最大限に得ることが可能となる。

## 【0004】

巻出し側テンションリールおよび巻取り側テンションリールをトルク一定制御（電流一定制御）で動作させることは、圧延機の出側板厚変動を発生させる圧延機入側速度および圧延機出側速度の変動要因となる。これは、トルク一定制御を行った場合は、テンションリールのトルクを一定とするためにテンションリール速度がテンションリールの慣性により変化してしまうためである。その結果、マスフロー一定則より出側板厚変動が発生する。

20

## 【0005】

圧延機で生産される被圧延材にとって最も重要なのは圧延機の出側板厚精度であり、圧延機入側および出側の張力は操業の安定性のためには重要であるが、製品板厚を維持するためであれば多少は変動しても圧延操業上問題無い。この考え方にもとづき、特許文献1に開示されている発明においては、予め設定した範囲の設定張力値からの偏差に対しては、テンションリール速度を一定とすることを優先し、前記張力偏差を修正しないことでテンションリール速度変動を抑制しており、テンションリールを速度一定制御で動作させている。

30

## 【0006】

この場合、張力偏差が予め設定した範囲内に収まっていれば良いが、圧延状態や母材条件によっては予め設定した範囲を超える場合が発生する。その場合、テンションリール速度が変更されてしまうため、圧延機入側速度が変化し、出側板厚変動が発生することになる。

## 【0007】

また、圧延状態により圧延機の影響係数が変化し、テンションリール速度を操作端とする張力制御、圧延機のロールギャップを操作端とする出側板厚制御が不安定となる場合も存在する。このような場合は、現状のロールギャップを制御操作端とする出側板厚制御と、テンションリールを速度一定制御で動作させた場合の張力速度制御やテンションリールをトルク一定制御で動作させた場合の張力トルク一定制御では安定に制御することが困難であり、圧延機出側板厚の振動が発生することになる。

40

## 【0008】

これに対して、圧延操業のタイミングに基づき、所定の状態においてはロールギャップによる張力制御を行うと共に、テンションリールの速度制御による板厚制御を行う方法が提案されている（例えば、特許文献3参照）。

## 【先行技術文献】

50

## 【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2010-240662号公報

【特許文献2】特開2012-176428号公報

【特許文献3】特開2014-11629号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献3に開示された技術を用いる場合、ロールギャップによる板厚制御及び速度制御による張力制御（以降、「第1の制御方法」とする）と、ロールギャップによる張力制御及び速度制御による板厚制御（以降、「第2の制御方法」とする）とを切り替えるタイミングがある。そのようなタイミングにおいて張力の実績値が目標値に対して偏差を有する場合、切り替え後の制御値が制御過多となり、板厚変動を抑制しきれない状態が発生する場合がある。そのような問題は、圧延速度を加速若しくは減速させている状態において制御方法を切り替えた場合に特に発生しやすい。

10

【0011】

本発明において解決すべき課題は、圧延状態において張力制御及び板厚制御の制御操作端を切り替える場合に、切り替え時の板厚変動を好適に抑制することにある。

## 【課題を解決するための手段】

【0012】

20

本発明は例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。本願は上記課題を解決する構成要素を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、被圧延材をロール対で圧延する圧延機において、被圧延材の張力を制御するための操作端及び被圧延材の圧延後の板厚を制御するための操作端を圧延状態に応じて切り替える場合に、その切り替えに際して、前記被圧延材の張力の設定値と実測値との差である入側張力偏差から算出される制御値であって、前記被圧延材の張力に基づく制御のための制御値を小さくすることにより、前記被圧延材の張力に基づく制御を抑制することを特徴とする。

## 【発明の効果】

【0013】

30

本発明によれば、圧延状態において張力制御及び板厚制御の制御操作端を切り替える場合に、切り替え時の板厚変動を好適に抑制することができる。尚、上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

## 【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施形態に係る圧延機及び圧延制御装置の全体構成を示す図である。

【図2】本発明の実施形態に係る圧下板厚制御、速度板厚制御、速度張力制御及び圧下張力制御の内部機能を示す図である。

【図3】本発明の実施形態に係る制御方法選択装置の内部機能を示す図である。

【図4】本発明の実施形態に係る最適制御方法決定装置の動作例を示す図である。

40

【図5】本発明の実施形態に係る最適制御方法決定装置の動作例を示す図である。

【図6】本発明の実施形態に係る制御方法のデータベースを示す図である。

【図7】本発明の実施形態に係る制御出力選択装置の内部機能を示す図である。

【図8】本発明の実施形態に係る入側TR速度指令装置の機能を示す図である。

【図9】加減速時に制御方法を切り替えた場合の出側板厚及び入側張力の偏差を示す図である。

【図10】本発明の実施形態に係る入側張力偏差補正装置の動作概要を示す図である。

【図11】本発明の実施形態に係る入側張力偏差補正装置の動作概念を示す図である。

【図12】本発明の実施形態に係る圧延制御により加減速時に制御方法を切り替えた場合の出側板厚及び入側張力の偏差を示す図である。

50

【図 1 3】本発明の実施形態に係る入側 T R 制御装置の機能を示す図である。

【図 1 4】従来技術に係る圧延制御装置の全体構成を示す図である。

【図 1 5】従来技術に係る圧延現象の例を示す図である。

【図 1 6】従来技術に係る入側張力圧延現象系の例を示す図である。

【図 1 7】従来技術に係る各パラメータの時系列の例を示す図である。

【図 1 8】従来技術に係るシングルスタンド圧延機の制御操作端と制御状態量の関係を示す図である。

【図 1 9】従来技術に係るシングルスタンド圧延現象の例を示す図である。

【図 2 0】従来技術に係るシングルスタンド圧延機のクロス応答を模式的に示す図である。

10

【図 2 1】シングルスタンド圧延機の制御操作端と制御状態量の関係例を示す図である。

【図 2 2】クロス項を考慮した操作端と制御状態量との関係性を示す図である。

【図 2 3】本発明の実施形態に係る圧延制御装置のハードウェア構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下、被圧延材の巻出しおよび巻取りにテンションリールを用いる代表的な圧延機であるシングルスタンド圧延機を例に本発明の詳細を説明する。図 1 4 は、シングルスタンド圧延機 S 1 0 0 の制御構成を示す図である。シングルスタンド圧延機 S 1 0 0 は、ロール対である圧延機 1 の圧延方向（図 1 4 中、矢印で示す）に対して圧延機 1 の入側に、被圧延材 u を供給して挿入させる入側テンションリール 2（以下、入側 T R 2 と称す）を有し、出側に、圧延機 1 で圧延された被圧延材 u を巻き取る出側テンションリール 3（以下、出側 T R 3 と称す）を有している。

20

【 0 0 1 6 】

入側 T R 2 および出側 T R 3 は、それぞれ電動機にて駆動され、この電動機と電動機を駆動制御するための装置として、それぞれ入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 が設置されている。この構成により、シングルスタンド圧延機 S 1 0 0 における圧延は、入側 T R 2 から巻き出された被圧延材 u を圧延機 1 で圧延した後、出側 T R 3 で巻き取ることにより行われる。

【 0 0 1 7 】

ここで、圧延機 1 には、上作業ロール R s 1 と下作業ロール R s 2 との間の距離であるロールギャップを変更することで、被圧延材 u の圧延後の板厚（製品板厚）を制御するためのロールギャップ制御装置 7 と、圧延機 1 の速度（上・下作業ロール R s 1、R s 2 の周速度）を制御するためのミル速度制御装置 4 が設置されている。圧延時、圧延速度設定装置 1 0 より速度指令がミル速度制御装置 4 に対して出力され、ミル速度制御装置 4 は、圧延機 1 の速度（上・下作業ロール R s 1、R s 2 の周速度）を一定とするような制御を実施する。即ち、ミル速度制御装置 4 が圧延機回転制御部として機能する。

30

【 0 0 1 8 】

圧延機 1 の入側（図 1 4 の圧延機 1 の左側）、出側（図 1 4 の圧延機 1 の右側）では、被圧延材 u に張力をかけることで圧延を安定かつ効率的に実施する。そのために必要な張力を計算するのが、入側張力設定装置 1 1 および出側張力設定装置 1 2 である。また、入側張力電流変換装置 1 5 および出側張力電流変換装置 1 6 は、入側張力設定装置 1 1 及び出側張力設定装置 1 2 にて計算された入側および出側張力設定値に基づき、入側および出側の設定張力を被圧延材 u に加えるために入側 T R 2 および出側 T R 3 のそれぞれの電動機の必要な電動機トルクを得るための電流値を求め、それぞれの電流値を入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 に与える。

40

【 0 0 1 9 】

入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 では、それぞれ与えられた電流となるように電動機の電流を制御し、入側 T R 2 および出側 T R 3 に与えられるそれぞれの電動機トルクにより被圧延材 u に所定の張力を与える。入側張力電流変換装置 1 5、出側張力電流変換装置 1 6 は、T R（テンションリール）機械系および T R（テンションリール）制

50

御装置のモデルに基き張力設定値となるような電流設定値（電動機トルク設定値）を演算する。

#### 【 0 0 2 0 】

ただし、この制御モデルは誤差を含むため、圧延機 1 の入側および出側に設置された入側張力計 8 および出側張力計 9 で測定された実績張力を用いて、入側張力制御 1 3 および出側張力制御 1 4 により張力設定値に補正を加えて、入側張力電流変換装置 1 5、出側張力電流変換装置 1 6 に付与する。これにより、入側張力電流変換装置 1 5、出側張力電流変換装置 1 6 が入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 へ設定する電流値を変更する。

#### 【 0 0 2 1 】

また、被圧延材 u の板厚は製品品質上重要であるため、板厚制御が実施される。具体的には、出側板厚制御装置 1 8 が、出側板厚計 1 7 にて検出された実績板厚に基づいてロールギャップ制御装置 7 を制御することにより圧延機 1 のロール間の間隔であるロールギャップを制御し、圧延機 1 の出側（図 1 4 の圧延機 1 の右側）の板厚を制御する。

#### 【 0 0 2 2 】

シングルスタンド圧延機において巻取および巻出に用いられる出側 T R 3 および入側 T R 2 は、それぞれの電動機が発生するトルクを一定とするトルク一定制御によって制御されている。具体的には、入側張力計 8、出側張力計 9 で検出した実績張力に基づき、電動機電流指令が補正されることで被圧延材 u にかかる張力を一定とするための制御が行われている。なお、入側 T R 2 及び出側 T R 3 のそれぞれの電動機の電動機トルクは、電動機電流により得られるので、トルク一定制御を電流一定制御とする場合もある。

#### 【 0 0 2 3 】

トルク一定制御で T R (テンションリール)制御を行う場合、圧延機に適用される板厚制御と干渉して出側板厚精度が悪化するという問題が有る。出側板厚に対する影響は出側張力に比べて入側張力のほうが大きいので、圧延機 1 と入側 T R 2 における問題点を、以下説明する。

#### 【 0 0 2 4 】

図 1 5 は、シングルスタンド圧延機 S 1 0 0 の入側 T R 2 と圧延機 1 間の圧延現象を示す概念図である。図 1 5 に示すように、入側 T R 2 においては、入側 T R 制御装置 5 の出力である電動機トルク 2 2 と、入側張力 2 4 (T b) と機械条件（リール径 D およびリールギア比 G r）より決定される張力トルク 2 5 との和、つまり電動機トルク 2 2 と張力トルク 2 5 との和を積分することで、入側 T R (テンションリール)速度 2 0 が決定される。なお、J は、入側 T R 2 の慣性モーメント (k g ・ m<sup>2</sup>) である。

#### 【 0 0 2 5 】

圧延機 1 においては、ロールギャップ変更量 2 3 (= S) を図示するような所定の係数 (M / (M + Q)) を積算した値と、圧延機 1 の入側張力 2 4 を図示するような所定の係数 ((P / T b) / (M + Q)) を積算した値とにより、出側板厚 2 6 が決定され、この決定された出側板厚 2 6 からマスフロー一定則により圧延機入側速度 2 1 が決定される。そして、圧延機入側速度 2 1 と入側 T R 速度 2 0 との差を積分したものが入側張力 2 4 となる。なお、図 1 5 において、M はミル定数 M (k N / m) であり、Q は塑性定数 Q (k N / m) であり、(P / T b) / (M + Q) は、入側張力 T b の変動による圧延荷重 P (k N) の変動の出側板厚への影響係数 (k b) である。

#### 【 0 0 2 6 】

圧延機 1 における、基本法則としてマスフロー一定則がある。これは、圧延機 1 の入側（図 1 4 に示す圧延機 1 左側）と圧延機 1 の出側（図 1 4 に示す圧延機 1 右側）の被圧延材 u が連続することより以下の式 (1) によって示される。

$$H \cdot V_e = h \cdot V_o \quad \cdots (1)$$

H : 圧延機 1 の入側板厚

h : 圧延機 1 の出側板厚

V\_e : 圧延機 1 の入側板速

10

20

30

40

50

V o : 圧延機 1 の出側板速

【 0 0 2 7 】

マスフロー一定則の式 ( 1 ) から、入側板厚一定の場合、入側板速が変動すると出側板厚が変動することを意味する。シングルスタンド圧延機 ( 図 1 4 に示す一つの圧延機 1 ) の場合、入側板速は入側 T R 速度となる。入側 T R 2 は、電動機トルク 2 2 に張力トルク 2 5 が合致するように入側 T R 速度 2 0 を変化させるが、この変化は入側 T R 2 の慣性と圧延機 1 および圧延現象によって行われ、入側速度 2 0 の変化を抑制する制御手段がない。

【 0 0 2 8 】

そのため、圧延機 1 において、板厚制御で出側板厚 ( 圧延機 1 の出側の被圧延材 u の板厚 ) を一定とするためロールギャップ変更量 2 3 の S を操作すると、それに応じて圧延機入側速度 2 1 ( 圧延機 1 の入側の被圧延材 u の搬送速度 ) が変化し、入側張力 2 4 の偏差 T b が発生する。これを抑制するために入側 T R 速度 2 0 が変動するが、この変動によって出側板厚変動が発生する。入側 T R 2 によって行われる入側張力抑制系 2 7 は圧延条件によっては時定数が大きい場合があり、大きなうねりを持つ出側板厚変動の原因となる場合がある。

【 0 0 2 9 】

入側張力 2 4 は、圧延現象によっても抑制される。入側張力 2 4 が変動すると、圧延機 1 の圧延荷重 P が変化し、それに伴って圧延機入側速度 2 1 が変動する。この入側張力圧延現象系 2 8 によっても入側張力 2 4 は変動する。入側張力圧延現象系 2 8 の応答は、入側張力抑制系 2 7 に比べて非常に速いため、図 1 5 の入側圧延現象は、図 1 6 のように変換できる。

【 0 0 3 0 】

図 1 6 より、圧延機 1 のロールギャップ変更量 2 3 ( = S ) は、同位相で入側張力 2 4 の偏差 T b となって表れ、それが入側 T R 2 で積分された状態で入側 T R 速度 2 0 が変化することがわかる。従って、ロールギャップ変更量 2 3 ( = S ) と入側張力 2 4 の偏差 T b 、入側 T R 速度 2 0 の変化、および出側板厚の変化は図 1 7 のような関係となる。図 1 7 は、ロールギャップ変更量 2 3 、入側張力 2 4 ( T b ) 、入側 T R 速度 2 0 、および出側板厚の関係を表す図である。

【 0 0 3 1 】

図 1 7 に示すように、ロールギャップ変更量 2 3 が変化すると、圧延機 1 の入側速度が変化し、入側張力 2 4 が変化する。入側張力 2 4 の変化に伴い、入側 T R 2 はトルク一定制御を行っているため、入側 T R の慣性による動作で入側 T R 速度 2 0 が変化する。入側 T R 速度 2 0 が変動すると、上記式 ( 1 ) において示したマスフロー一定則により出側板厚変動が発生する。出側板厚変動が発生すると、出側板厚制御装置 1 8 が出側板厚を一定とするためロールギャップ変更量 2 3 を操作する。これら一連の動作が継続すると、図 1 7 に示すように、出側板厚が振動するようになる。

【 0 0 3 2 】

なお、実際には出側板厚計 1 7 は圧延機 1 から離れた場所に設置されるため出側板厚制御装置 1 8 が用いる出側板厚の検知までに遅れ時間が存在するが、出側板厚の振動周期に対して十分に遅れ時間が短い場合は無視できる。

【 0 0 3 3 】

このような出側板厚の振動を防止するために、テンションリールと圧延機との間の張力を所望の値に維持する制御を行う一方、予め設定した範囲の張力設定値からの偏差に対してはテンションリール速度を一定とすることを優先し、張力偏差を修正しないことで、テンションリール速度の変動を抑制する方法が考えられる。しかしながら、この方法ではテンションリール速度の変更を抑制することで圧延機出側板厚変動を抑制する事ができない場合が発生する。

【 0 0 3 4 】

圧延機においては、ロールギャップとロール速度という 2 個の制御操作端と、圧延機の

10

20

30

40

50

出側板厚と圧延機の入側（または出側）張力という２個の制御状態量が存在する。２個の制御操作端を操作した場合、２個の制御状態量それぞれに影響を及ぼして制御状態量が変化する。図１７は、このような制御操作端及び制御状態量の関係を、シングルスランド圧延機の場合について示した図である。シングルスランド圧延機の圧延現象は、図１８に示したようになるが、これを概念的に記述したのが図１９である。

#### 【００３５】

シングルスランド圧延機１の場合、制御操作端は、ロールギャップ変更量２３、入側ＴＲ速度２０である。また、制御状態量は、圧延機の出側板厚２６、入側張力２４である。ロールギャップ変更量２３を変更した場合、（ロールギャップ 出側板厚）影響係数５０３による出側板厚２６、（ロールギャップ 入側張力）影響係数５０１による入側張力２４の変化が発生する。また、入側ＴＲ速度２０を変更した場合、（入側ＴＲ速度 入側張力）影響係数５０２による入側張力２４、（入側ＴＲ速度 出側板厚）影響係数５０４による出側板厚２６の変化が発生する。

10

#### 【００３６】

シングルスランド圧延機１においては、図１９に示したように、圧延機出側板厚２６については、出側板厚制御装置１８がロールギャップ変更量２３を変更することで制御している。また、入側張力２４については、図１９に示すように入側張力抑制系２７が入側ＴＲ速度２０を変更することで制御している。

#### 【００３７】

（ロールギャップ 出側板厚）影響係数５０３および（入側ＴＲ速度 入側張力）影響係数５０２が、（ロールギャップ 入側張力）影響係数５０１および（入側ＴＲ速度 出側板厚）影響係数５０４に比較して十分大きい場合は、この制御構成で問題無いが、公知例２で示しているように、（ロールギャップ 出側板厚）影響係数５０３および（入側ＴＲ速度 入側張力）影響係数５０２が、（ロールギャップ 入側張力）影響係数５０１および（入側ＴＲ速度 出側板厚）影響係数５０４に比べて小さくなってくると、安定に制御が行われなくなる問題が発生する。

20

#### 【００３８】

このような状態となると、板厚制御装置１８が、出側板厚２６を制御するために、ロールギャップ変更量２３を操作しても、入側張力２４が大きく変動し、それを制御するために入側張力抑制系２７が入側ＴＲ速度２０を変更すると、それにより出側板厚２６が大きく変動する。出側板厚が変化すると、板厚制御装置１８がロールギャップ変更量２３を操作するため、結果として、出側板厚２６、入側張力２４、入側ＴＲ速度２０、ロールギャップ変更量２３が同じ周期で振動する状態が発生する事になる。

30

#### 【００３９】

シングルスランド圧延機の入側圧延現象は、図１６に示すようになる。入側ＴＲ２による入側張力抑制系２７を取り去って、入側ＴＲ速度２０及びロールギャップ変更量２３を制御操作端とし、出側板厚２６及び入側張力２４を制御状態量として作成した、図１５と同様なブロック図を図１６に示す。図１５から図１６に変換した場合と同様に、入側張力圧延現象系２８をまとめて、入側張力影響係数１０１としている。図１５においては、入側ＴＲ２による入側張力抑制系２７に比べて、応答時間が十分に短いとして省略した１次遅れ時定数Ｔ<sub>r</sub>を、図１６においては残している。図１６から、図１５における影響係数５０１、５０２、５０３、５０４に対応するものとして、図１９の１１１、１１２、１１３、１１４が得られる。

40

#### 【００４０】

ここで、 $V_e$ は入側ＴＲ速度２０、 $h$ は圧延機の出側板厚２６であるから、出側板厚２６が薄く、入側ＴＲ速度２０が速ければ、（入側ＴＲ速度 出側板厚）影響係数１１４および（入側ＴＲ速度 入側張力）影響係数１１２が小さくなることがわかる。また、入側張力影響係数１０１に含まれる１次遅れ時定数Ｔ<sub>r</sub>は小さくなる。そのため、（ロールギャップ 出側板厚）影響係数１１３は、小さくなる。また、（ロールギャップ 入側張力）影響係数１１１は応答が速くなる。つまり、出側板厚２６が薄く、入側ＴＲ速度２０が

50



速いと、ロールギャップ変更量 2 3 操作時、圧延機の出側板厚 2 6 が変化しにくくなり、入側張力が変化しやすくなる。つまり、(ロールギャップ 入側張力) 影響係数 1 1 1 が (ロールギャップ 出側板厚) 影響係数 1 1 3 より大きくなる。また、入側 T R 速度 2 0 操作時は、入側張力 2 4 および出側板厚 2 6 が同じように変化しづらくなる。

#### 【 0 0 4 1 】

入側張力に関しては、圧延現象項  $k_b$  を含む。圧延速度および出側板厚に応じて  $k_b$  も変化するが、 $k_b$  が大きくなると、(入側 T R 速度 入側張力) 影響係数 1 1 2 は、(入側 T R 速度 出側板厚) 影響係数 1 1 4 に比較して小さくなる。

#### 【 0 0 4 2 】

以上より、出側板厚 2 6 が薄く、入側 T R 速度 2 0 が速くなる事により、(ロールギャップ 出側板厚) 影響係数 1 1 3 が (ロールギャップ 入側張力) 影響係数 1 1 1 に比較して小さくなり、(入側 T R 速度 入側張力) 影響係数 1 1 2 が (入側 T R 速度 出側板厚) 影響係数 1 1 4 に比較して小さくなる場合が存在する事がわかる。このような場合、図 1 9 に示すような、板厚制御装置 1 8 で出側板厚 2 6 を、入側張力抑制系 2 7 で入側張力 2 4 を制御しようとする、クロス項の影響が大きいため安定に制御する事が不可能になる。

#### 【 0 0 4 3 】

このような場合には、図 2 2 に示すように、出側板厚 2 6 を入側 T R 速度 2 0 にて制御する速度板厚制御装置 5 0、および入側張力 2 4 をロールギャップ変更量 2 3 にて制御する圧下張力制御 5 1 を適用する事で、出側板厚 2 6 および入側張力 2 4 を安定に制御できるようになる。これを実現するためには、従来トルク一定制御(電流一定制御)にて運転している入側 T R 2 を速度一定制御での運転に変更する必要がある。

#### 【 0 0 4 4 】

入側張力抑制系 2 7 の応答が悪化した場合においても、入側 T R 2 を速度一定制御で運転する必要がある。図 1 6 における、入側張力抑制系 2 7 は、等価変換により、時定数  $T_q$  の 1 次遅れ系となる。ここで、 $T_q$  は入側 T R 速度 2 0 に比例、圧延機の出側板厚 2 6 に反比例し、圧延現象項  $k_b$  に比例する。従って、圧延現象項  $k_b$  が大きくなると入側張力抑制系 2 7 の時定数  $T_q$  が大きくなり、入側張力抑制系 2 7 の応答が悪化することとなる。また、この場合は、図 2 1 における(ロールギャップ 入側張力) 影響係数 1 1 1 は、大きくならないため、従来のロールギャップ変更量 2 3 による板厚制御と、入側張力抑制系 2 7 による張力制御で安定に制御可能であると考えられる。

#### 【 0 0 4 5 】

圧延設備においては、多様な材質の被圧延材を、多様な板厚に圧延しており、また圧延速度も多様である。従って、圧延状態に応じて、出側板厚および入側張力制御を安定に実施できる、以下の 3 種類の場合が発生する。

A) ロールギャップを操作する板厚制御と、トルク一定制御で運転する入側 T R の入側張力抑制系による張力制御。

B) ロールギャップを操作する板厚制御と、速度一定制御で運転する入側 T R の速度を操作する速度張力制御。

C) ロールギャップを操作する圧下張力制御と、速度一定制御で運転する入側 T R の速度を操作する速度板厚制御。

#### 【 0 0 4 6 】

圧延機の板厚制御および張力制御を安定に実施するためには、圧延状態に応じて、上記 3 種の制御を切替えて使用する必要がある。これを実現するための、本実施形態に係るシングルスタンド圧延機の制御構成を図 1 に示す。出側板厚計 1 7 で検出した出側板厚偏差  $h$  を用いて、圧下板厚制御 6 1 によりロールギャップへの操作指令  $S_{AGC}$  を生成し、速度板厚制御 6 2 により入側 T R 速度への操作指令  $V_{AGC}$  を生成する。また、入側張力計 8 で測定した入側張力の実測値である入側張力実績と、入側張力設定装置 1 1 で設定した入側張力設定との偏差(入側張力偏差)  $T_b$  を用いて、速度張力制御 6 3 に

10

20

30

40

50

より入側 T R 速度への操作指令  $V_{ATR}$  を生成し、圧下張力制御 6 4 によりロールギャップへの操作指令  $S_{ATR}$  を生成する。

【 0 0 4 7 】

また、入側 T R 2 が、トルク一定制御で運転している場合については、入側張力設定装置 1 1 による入側張力設定値に、入側張力実績と入側張力設定値との偏差により入側張力設定値を操作する入側張力制御 1 3 からの制御出力を加えたものを、入側 T R 2 への電流指令に入側張力電流変換装置 1 5 により変換して、入側 T R 制御装置 6 6 への電流指令を作成する。

【 0 0 4 8 】

制御方法選択装置 7 0 は、圧延状態に応じて、上述した A )、B )、C ) のいずれの制御方法を適用すれば最も出側板厚変動、入側張力変動を低減可能かを選択し、選択結果に基づきロールギャップ制御装置 7 に対してロールギャップ操作指令を出力する。入側 T R 速度を操作する場合は、入側 T R 速度指令装置 6 5 に速度操作指令を出力する。入側 T R 速度指令装置 6 5 においては、基準速度設定装置 1 9 より出力される入側 T R 基準速度と、制御方法選択装置 7 0 よりの入側 T R 速度変更量より入側 T R 速度指令を作成し、入側 T R 制御装置 6 6 に出力する。

【 0 0 4 9 】

入側 T R 制御装置 6 6 においては、電流指令に応じてトルク一定制御（電流一定制御）を行う運転モードと、速度指令に応じて速度一定制御を行う運転モードを持ち、制御方法選択装置 7 0 からの指令に応じて切替えて運転する。

【 0 0 5 0 】

図 2 に、圧下板厚制御 6 1、速度板厚制御 6 2、速度張力制御 6 3、圧下張力制御 6 4 のブロック図の一例を示す。これらは、各制御構成の一例であり、これ以外の方法を用いて制御系を構成することも可能である。例えば、図 2 の例では、各制御系は積分制御（I 制御）となっているが、比例積分（P I 制御）または、微分比例積分制御（P I D 制御）とすることもできる。

【 0 0 5 1 】

圧下板厚制御 6 1 は、出側板厚実績  $h_{fb}$  と出側板厚設定値  $h_{ref}$  との差である出側板厚偏差  $h = h_{fb} - h_{ref}$  を入力とし、入力された出側板厚偏差に調整ゲインおよび出側板厚偏差からロールギャップへの変換ゲインをかけたものを積分する積分制御（I 制御）で構成される。積分後の出力と、前回値との偏差をとって、制御出力  $S_{AGC}$  とする。また、速度板厚制御 6 2 は、出側板厚偏差  $h$  を入力とし、入力された出側板厚偏差に調整ゲインおよび出側板厚偏差から入側速度への変換ゲインをかけたものを積分する積分制御（I 制御）で構成される。積分後の出力と、前回値との偏差をとって、以下の式（15）または（16）を制御出力とする。

$$\Delta \left( \frac{\Delta V}{V} \right)_{AGC} \cdots (2)$$

ここで、M は圧延機のミル定数、Q は被圧延材の塑性定数である。また、速度板厚制御の指令は、設定速度に対する速度変更比率として出力される。

【 0 0 5 2 】

圧下張力制御 6 4 は、入側張力実績  $T_{bfb}$  と入側張力設定値  $T_{bref}$  との差である入側張力偏差  $T_b = T_{bfb} - T_{bref}$  を入力とし、入力された入側張力偏差  $T_b$  に調整ゲインおよび入側張力偏差  $T_b$  からロールギャップへの変換ゲインをかけたものを積分する積分制御（I 制御）で構成される。積分後の出力と、前回値との偏差をとって、制御出力  $S_{ATR}$  とする。

【 0 0 5 3 】

また、速度張力制御 6 3 は、入側張力偏差  $T_b$  を入力とし、入力された入側張力偏差  $T_b$  に調整ゲインおよび入側張力偏差  $T_b$  から入側速度への変換ゲインをかけたものを積分する積分制御（I 制御）で構成される。積分後の出力と、前回値との偏差をとって、以下の式（3）を制御出力とする。

$$\Delta \left( \frac{\Delta V}{V} \right)_{ATR} \dots (3)$$

#### 【 0 0 5 4 】

10

図 3 に、制御方法選択装置 7 0 の概要を示す。制御方法選択装置 7 0 は、最適制御方法決定装置 7 1 および制御出力選択装置 7 2 より構成される。最適制御方法決定装置 7 1 にて、上述した A )、B )、C ) のいずれの制御方法を用いて制御するかを決定し、制御出力選択装置 7 2 において、前記圧下板厚制御 6 1、速度板厚制御 6 2、速度張力制御 6 3、圧下張力制御 6 4 のいずれの出力を使用するか選択して、ロールギャップ制御装置 7 および入側 T R 速度指令装置 6 5、入側 T R 制御装置 6 6 に制御指令を出力する。即ち、最適制御方法決定装置 7 1 が、制御態様決定部として機能する。

#### 【 0 0 5 5 】

図 4 に、最適制御方法決定装置 7 1 の動作概要を示す。ここでは、（ロールギャップ入側張力）影響係数 1 1 1 が大きい場合は、制御方法 C ) を用いて圧下による張力制御、リール速度による板厚制御を行い、入側張力抑制系 2 7 の張力修正時定数が大きい場合は、制御方法 B ) により、圧下による板厚制御と、T R 速度を操作する入側張力制御を行うものとする。それ以外の場合は、従来より実施されている制御方法 A ) を選択するものとする。

20

#### 【 0 0 5 6 】

3 つの制御方法のいずれを選択するかは、以下によって決定する。被圧延材の鋼種、出側板厚および圧延速度により、最適制御方法は変化すると考えられることから、鋼種または出側板厚が変わったら、圧延速度を低速、中速、高速の 3 段階程度に分け、圧延中に該当する圧延速度になったら、ロールギャップをステップ状に変化させて入側張力および出側板厚の変化を調べる。この場合、ロールギャップ変更量は、被圧延材の製品品質に影響を与えない大きさで変化させれば、製品材の圧延中にも実施可能である。またロールギャップをステップ状に変化させる場合には、上述した制御方法 A ) を選択しておく。

30

#### 【 0 0 5 7 】

尚、本実施形態においては、図 4 に示すように、低速、中速、高速の順で段階的に圧延速度を変化させている。これは、上述した 3 つの制御方法のいずれかを選択するために実行されるものである。しかしながら、実際に圧延操作を開始する場合においても、図 4 に示すように段階的に圧延速度を上昇させる。従って図 4 に示すような操作は、通常の圧延操作に併せて実施することが可能であり、生産性を低下させることなく実施可能である。

#### 【 0 0 5 8 】

ロールギャップをステップ状に変化させた直後の入側張力変動量、出側板厚変動量を測定し、（ロールギャップ 入側張力）影響係数 1 1 4 と（ロールギャップ 出側板厚）影響係数 1 1 2 のいずれが大きいかを判断する。また、入側張力抑制系 2 7 の応答時間は、ロールギャップをステップ状に動作させた場合の入側張力変化から判断する。

40

#### 【 0 0 5 9 】

例えば、図 4 に示すように、圧延速度に応じて低速、中速、高速の領域を定める。この定め方は、最高速度までを 3 等分しても良いし、その他適当な基準により分割する。圧延速度がそれらの領域に入ったら、ロールギャップにステップ状の外乱を加える。ステップ状外乱を加えることで、入側張力および出側板厚が変動する。

#### 【 0 0 6 0 】

次に、図 5 に示すように、入側張力および出側板厚偏差の実績より、パラメータ  $d T_b$

50

、 $d h$ 、 $T b r$ を求める。これらのパラメータは、実績値の時間方向の変動状況より信号処理にて求めることができる。求めたパラメータ $d T b$ 、 $d h$ 、 $T b r$ の大小関係から制御方法A)、制御方法B)、制御方法C)を選択する。

#### 【0061】

制御方法A)、制御方法B)、制御方法C)夫々の選択に際しては、図5に示すように、上述したパラメータ $d T b$ 、 $d h$ 、 $T b r$ に基づいて算出される値と、所定の閾値との比較に判断する。例えば、 $(d h / h r e f) / (d T b / T b r e f)$ によって算出される値が、所定の閾値である制御方法C)選択値以下である場合、制御方法C)が選択される。また、 $T b r$ が所定の閾値である制御方法B)選択値以上である場合、制御方法B)が選択される。制御方法C)選択値、制御方法B)選択値については、過去の実績値や圧延機のシミュレーション等によりあらかじめ求めて設定しておくことが可能である。

10

#### 【0062】

この最適制御方法選択処理を、低速、中速、高速におけるステップ状変更1、ステップ状変更2、ステップ状変更3について行くと、図5に示す場合は、低速については制御方法A)、中速については制御方法B)、高速については制御方法C)を最適制御方法として選択するという結果になる。

#### 【0063】

制御方法選択装置70は、このような最適制御方法決定手順を実行し、求めた最適制御方法に制御方法を切り替える。この場合、制御方法A)と制御方法B)および制御方法C)では、入側TRの制御方法が異なるため、圧延操業中には切替できない場合もある。その場合は、制御方法A)で圧延操業を継続し、次回同一鋼種、同一板幅の被圧延材が来た場合に制御方法を切り替えればよい。求めた最適制御方法は、被圧延材の鋼種、出側板厚および圧延速度を検索条件とするデータベースに記録し、次回同種の被圧延材を圧延する場合は、データベースに記録してある最適制御方法に従って制御する。

20

#### 【0064】

データベースのレコード例を図6に示す。圧延設備によっては、圧延操業中に制御方法A)と制御方法B)および制御方法C)の切替ができない場合があるが、制御方法A)の代わりに制御方法B)を用いることも可能である。このようにすれば、低速では制御方法A)であるが高速では制御方法C)が最適である被圧延材の場合、低速では制御方法B)、高速では制御方法C)を選択することで全速度域において安定かつ高精度な圧延が可能となる。

30

#### 【0065】

なお、上で述べた方法は最適制御方法の決定手順の一例であり、他の方法を用いることも可能である。例えば、圧延実績より、圧延現象モデルを用いて図21に示す影響係数を数値的に求め、その大小関係から最適制御方法を選択する事も可能である。

#### 【0066】

図7に、制御出力選択装置72の動作概要を示す。制御出力選択装置72においては、圧下板厚制御61、速度板厚制御62、速度張力制御63、圧下張力制御64からの出力、最適制御方法決定装置71からの制御方法選択結果を入力として、ロールギャップ制御装置7、入側TR速度指令装置65、入側TR制御装置66へ制御指令を出力する。

40

#### 【0067】

図7に示すように、制御出力選択装置72においては、圧下板厚制御61、速度板厚制御62、速度張力制御63、圧下張力制御64からの出力が、夫々ゲインコントローラ73、74、75、76に入力されている。ゲインコントローラ73～76は、圧下板厚制御61、速度板厚制御62、速度張力制御63、圧下張力制御64夫々の出力にゲインをかけて出力する信号調整部である。ゲインコントローラ73～76のゲインは、最適制御方法決定装置71からの制御方法選択結果に基づいて調整される。

#### 【0068】

制御方法A)選択の場合は、圧下板厚制御61からの出力を積分処理してロールギャップ制御装置7に出力する。また、入側TR制御装置66に対して、トルク一定制御モード

50

選択を出力する。そのため、最適制御方法決定装置 7 1 による制御方法選択結果により、ゲインコントローラ 7 4 ~ 7 6 のゲインがゼロに設定されると共に、ゲインコントローラ 7 3 のゲインが調整され、圧下板厚制御 6 1 からの出力が積分処理部 7 7 によって積分処理されるように設定される。また、最適制御方法決定装置 7 1 による制御方法選択結果により、入側 T R 制御装置 6 6 に対して、トルク一定制御モード選択が出力される。この場合、入側 T R 制御装置 6 6 が、テンションリールトルク制御部として機能する。

#### 【 0 0 6 9 】

制御方法 B ) 選択の場合は、圧下板厚制御 6 1 からの出力を積分処理してロールギャップ制御装置 7 に出力するとともに、速度張力制御 6 3 からの出力を積分処理して入側 T R 速度指令装置 6 5 に出力する。そのため、最適制御方法決定装置 7 1 による制御方法選択結果により、ゲインコントローラ 7 4、7 5 のゲインがゼロに設定されると共に、ゲインコントローラ 7 3、7 6 のゲインが調整され、圧下板厚制御 6 1 からの出力が積分処理部 7 7 によって積分処理されると共に速度張力制御 6 3 からの出力が積分処理部 7 8 によって積分処理されるように設定される。

#### 【 0 0 7 0 】

制御方法 C ) 選択の場合は、速度板厚制御 6 2 からの出力を積分処理して入側 T R 速度指令装置 6 5 に出力するとともに、圧下張力制御 6 4 からの出力を積分処理してロールギャップ制御装置 7 に出力する。そのため、最適制御方法決定装置 7 1 による制御方法選択結果により、ゲインコントローラ 7 3、7 6 のゲインがゼロに設定されると共に、ゲインコントローラ 7 4、7 5 のゲインが調整され、圧下張力制御 6 4 からの出力が積分処理部 7 7 によって積分処理されると共に速度板厚制御 6 2 からの出力が積分処理部 7 8 によって積分処理されるように設定される。

#### 【 0 0 7 1 】

即ち、積分処理部 7 7 及びロールギャップ制御装置 7 につながる制御パスが、ロールギャップ制御部として機能する。また、積分処理部 7 8 及び入側 T R 速度指令装置 6 5 につながる制御パスが速度制御部として機能する。

#### 【 0 0 7 2 】

図 7 に示すような方法を用いることで、圧延操業中にでも例えば圧延速度に応じて、制御方法 A )、B )、C ) を相互に切り替えることが可能である。入側 T R 速度指令装置 6 5 においては、図 8 に示すように、オペレータの手動操作により圧延速度設定装置 1 0 にて決定された圧延機速度  $V_{MILL}$  より、基準速度設定装置 1 9 にて圧延機入側後進率  $b$  を考慮して作成した入側 T R 速度  $V_{ETR}$  を用いて、制御方法選択装置 7 0 からの制御指令を用いて、入側 T R 速度指令  $V_{ETRref}$  を作成し、入側 T R 制御装置 6 6 に出力する。

#### 【 0 0 7 3 】

図 7 に示すような方法を用いる事で、板厚制御と張力制御の制御操作端を切替える場合でも、圧延機 1 のロールギャップ指令および入側 T R 2 の速度指令を滑らかに変化させる事ができる。しかしながら、制御操作端の切替え時に入側張力制御の影響により出側板厚変動が抑制できない場合が発生する。本実施例の対象であるシングルスタンド圧延機の操業方法を、図 9 に示す。

#### 【 0 0 7 4 】

圧延機の停止状態から加速し、高速度で圧延して、最後に減速する事で 1 本の被圧延材 ( コイル ) の圧延が終了する。そのため、加速中に制御方法 B ) から制御方法 C ) への切替え、減速中に制御方法 C ) から制御方法 B ) への切り替えが発生する。例えば、圧延機が減速してくると、制御方法 C ) から制御方法 B ) への切替えが発生する。これにより、今まで出側板厚を入側 T R 2 の速度を用いて制御していたのが、圧延機 1 のロールギャップによる制御に切替わる。同様に、入側張力を圧延機 1 のロールギャップを用いて制御していたのが入側 T R 2 の速度を用いた制御に切替る。

#### 【 0 0 7 5 】

圧延機のロール速度 ( 圧延速度 ) が増大する ( 加速する ) と、圧延現象として、出側板

10

20

30

40

50

厚が薄くなり、それに伴ってマスフロー一定則で入側板速度が減少し、入側張力が下降する。それを抑制するように、制御方法 B ) においては、圧延機 1 のロールギャップを用いた出側板厚制御および入側 T R 2 の速度を用いた入側張力制御が行われている。

【 0 0 7 6 】

ここで、入側張力制御は、入側張力が小さくなるため、入側 T R 2 の速度を下げる（減速させる）動作をする。入側 T R 2 の速度を下げると、出側板厚は薄くなる結果となる。出側板厚制御は、圧延機 1 のロールギャップを開放して出側板厚を維持しようとする。この時、出側板厚制御は、圧延機 1 の加速による出側板厚減少分と、入側張力制御が入側 T R 2 の速度を操作した事による出側板厚減少分を制御する必要がある。

【 0 0 7 7 】

この場合、出側板厚制御は圧延機のロールギャップを開放する。その結果、入側張力は上昇するため、入側張力制御にとっては良い方向に動作する。そのため、制御方法 B ) の状態では入側張力および出側板厚を良好に制御できる。

【 0 0 7 8 】

この状態で、制御方法 C ) に切替ると、入側張力制御は圧延機 1 のロールギャップを、出側板厚制御は入側 T R 2 の速度を操作するようになる。この場合、入側 T R 2 が加速されると入側張力が下降するので入側張力制御により圧延機のロールギャップを狭くなる。その結果、出側板厚が減少するので出側板厚制御により入側 T R 2 の速度が上昇する。

【 0 0 7 9 】

入側 T R 2 の速度を上昇させる事は、入側張力を下降させるため、入側張力制御は、圧延現象としての入側張力低下と、板厚制御が入側 T R 2 の速度を操作した事による入側張力低下の両方を制御する必要がある。この場合、入側張力制御は圧延機のロールギャップを開放することで入側張力を上昇させようとする。しかしながら、圧延機 1 のロールギャップ変更の入側張力への影響係数が小さい状態だと入側張力を充分制御できない状態で出側板厚が変動してしまう。例えば、ロールギャップを過大に開放して出側板厚が厚い状態となってしまう。

【 0 0 8 0 】

上記と同様に、圧延機のロール速度（圧延速度）が低下する（減速する）と、圧延現象として、出側板厚が厚くなり、それに伴ってマスフロー一定則で入側板速度が上昇し、入側張力が上昇する。それを抑制するように、制御方法 C ) 時は、圧延機のロールギャップを用いた張力制御および入側 T R 2 の速度を用いた板厚制御が行われている。ここで、出側板厚制御は、出側板厚が厚くなるため、入側 T R 2 の速度を下げる（減速させる）動作をする。

【 0 0 8 1 】

入側 T R 2 の速度を下げると、入側張力が上昇する結果となる。従って、減速時に入側張力は、圧延現象によるものと、出側板厚制御が入側 T R 2 の速度を操作した事によるものにより増大する。入側張力制御は圧延機 1 のロールギャップを操作するが、圧延機 1 のロールギャップから入側張力への影響係数が低下した状態だと、入側張力の増大を制御しきれず、入側張力が設定張力より大きくなる場合がある。

【 0 0 8 2 】

この状態で、制御方法 B ) に切替ると、入側張力制御は入側 T R 2 の速度を、出側板厚制御は圧延機 1 のロールギャップを操作するようになる。この場合、入側張力が設定値より大きいので、入側張力制御は入側 T R 2 の速度を増大させ、その結果として出側板厚偏差は増大する事になる。出側板厚制御は、圧延機 1 のロールギャップを操作（圧下閉）して出側板厚変動を抑制しようとするが、入側張力が小さくなってそれを除去するように入側張力制御が動作し、入側 T R 2 の速度が元に戻るまで、マスフロー一定則より板厚偏差は解消されない。

【 0 0 8 3 】

以上より、圧延機 1 のロールギャップから入側張力への影響係数が十分に大きい状態で、制御方法 B ) と制御方法 C ) を切替えないと、入側張力が充分に制御できずに、出側板

10

20

30

40

50

厚変動が発生する場合がある。従って、制御方法 B ) と制御方法 C ) を切替える場合は、圧延機のロールギャップから入側張力への影響係数が十分に大きい間に行う必要がある。しかしながら、入側 T R 2 の速度変動により発生する板厚変動を除去するのが制御方法 C ) を用いる理由であることから、できるだけ速度が低い状態まで制御方法 C ) を使用することが求められる。

#### 【 0 0 8 4 】

図 9 の下段に、上記問題発生時の出側板厚偏差、入側張力の状態を示す。加速時は、制御方法 B ) から制御方法 C ) に切替えた直後、減速時は制御方法 C ) から制御方法 B ) に切替えた直後に板厚変動が発生する。これに対して、加減速時には制御方法 B ) と制御方法 C ) の切替えを実施せず、一定速度での圧延中に実施する事で上記の現象は回避可能である。しかしながら、制御が安定するまで一定速での運転が必要であり、操業効率が悪化する問題がある。

#### 【 0 0 8 5 】

出側板厚精度は、製品である被圧延材の品質上重要であるが、入側張力については多少変動しても出側板厚が安定していれば操業の安定性には問題ない。従って、入側張力制御の動作に補正を加える事で、圧延機のロールギャップから入側張力への影響係数が十分に大きくない状態であっても出側板厚精度を維持するようにすることが必要となる。また、この場合でも入側張力が一定範囲から外れると板破断や蛇行等が発生するため、入側張力は操業の安定性から予め定めた範囲である許容値内に入るようにする必要がある。

#### 【 0 0 8 6 】

そのため、本実施形態に係る圧延制御装置においては、図 1 に示すように入側張力偏差補正装置 9 1 が設けられている。図 1 0 は、入側張力偏差補正装置の動作概要を示す図である。図 1 0 に示すように、入側張力偏差補正装置 9 1 は、上限許容値設定装置 9 2、下限許容値設定装置 9 3 及び偏差補正部 9 4 を含む。そして、偏差補正部 9 4 は、入力された入側張力偏差の値が、上限許容値設定装置 9 2、下限許容値設定装置 9 3 によって夫々設定された上限値及び下限値の範囲内であれば、入側張力偏差をゼロに補正して出力する。これにより、速度張力制御 6 3、圧下張力制御 6 4 に夫々入力される入側張力偏差の値が補正される。

#### 【 0 0 8 7 】

これにより、仮に入側張力偏差が発生していたとしても、速度張力制御 6 3、圧下張力制御 6 4 に対しては偏差が発生していないように見せかけ、入側 T R 速度指令装置 6 5 による張力制御の動作が抑制される。即ち、入側張力偏差補正装置 9 1 が、張力制御抑制部として機能する。また、上限許容値設定装置 9 2 及び下限許容値設定装置 9 3 が、張力偏差の許容値を指定する張力制御抑制設定部として機能する。入側張力偏差補正装置 9 1 によるこのような動作は、上述したように制御方法 B ) から制御方法 C ) に切替えた直後、及び制御方法 C ) から制御方法 B ) に切り替えた直後に行われる。これにより、上述したような問題を解消することが出来る。

#### 【 0 0 8 8 】

図 1 1 は、入側張力偏差補正装置 9 1 の動作概念を示す図である。図 1 1 においては張力設定の目標値を細い破線で、上限許容値設定装置 9 2、下限許容値設定装置 9 3 によって設定される許容値を太い破線で示している。図 1 1 に示すように、上限許容値設定装置 9 2 及び下限許容値設定装置 9 3 は、制御方法 B ) から制御方法 C ) に切り替わったタイミング、若しくは制御方法 C ) から制御方法 B ) に切り替わったタイミングであるタイミング  $t_0$  において、夫々上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$  を偏差補正部 9 4 に対して設定する。上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$  の値が、入側張力偏差の許容値、即ち、入側張力制御のデッドバンドである。

#### 【 0 0 8 9 】

その後、偏差補正部 9 4 は、時間経過と共に上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$  を小さくしていく。これにより、許容される入側張力偏差の幅は時間経過と共に小さくなる。そして、タイミング  $t_1$  において上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T$

10

20

30

40

50

$b_{min}$  がゼロになり、入側 TR 速度指令装置 65 による張力制御が抑制された状態から通常通り張力制御が行われる状態に戻る。タイミング  $t_0$  からタイミング  $t_1$  の期間は数秒程度であり、例えば 10 秒であるが、被圧延材の材質や圧延速度、圧下率等の他の条件によって最適な期間は異なる。

#### 【0090】

図 12 は、図 10、図 11 に示すような入側張力偏差補正装置 91 による処理が実行された場合の制御状態を示す図であり、図 9 に対応する図である。制御方法 B)、C) の切り替え時に入側張力偏差を抑制することにより、図 12 に示すように、出側板厚偏差の変動を図 9 の場合に比べて低減する事ができる。

#### 【0091】

上限許容値設定装置 92 および下限許容値設定装置 93 は、基準速度設定装置 19 から出力される入側 TR 基準速度に基づき、図 5、図 6 において説明したように最適制御方法データベースを参照して、制御方法 B) と制御方法 C) の切替タイミング、および圧延機の加速中、減速中を認識する。そして、その認識結果に基づき、図 11 に示す上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$ 、を夫々算出して偏差補正部 94 に設定する。

#### 【0092】

尚、上限許容値設定装置 92 および下限許容値設定装置 93 による上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$  の設定は、上述した基準速度設定装置 19 から出力される入側 TR 基準速度に基づいて行われる態様に限らず、他の方法を用いることも可能である。例えば、制御方法選択装置 70 の最適制御方法決定装置 71 が制御方法を切り替える際に、上限許容値設定装置 92 および下限許容値設定装置 93 に対して夫々上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$  を指示するようにしても良い。

#### 【0093】

偏差補正部 94 は、図 11 に示すように上限許容値  $T_{bmax}$ 、下限許容値  $T_{bmin}$ 、を時間経過に従って調整する。そして、偏差補正部 94 は、入力された入側張力偏差の値が入力時点における上限許容値  $T_{bmax}$  よりも大きければ、入力された入側張力偏差から上限許容値  $T_{bmax}$  を差し引いた値を補正後の入側張力偏差として出力する。

#### 【0094】

また、入力された入側張力偏差の値が入力時点における上限許容値  $T_{bmax}$  よりも小さく、下限許容値  $T_{bmin}$  よりも大きければ、補正後の入側張力偏差としてゼロを出力する。また、入力された入側張力偏差の値が入力時点における下限許容値  $T_{bmin}$  よりも小さければ、入力された入側張力偏差から下限許容値  $T_{bmin}$  を差し引いた値を補正後の入側張力偏差として出力する。

#### 【0095】

図 13 に、入側 TR 制御装置 66 の概要を示す。入側 TR 速度指令装置 65 からの入側 TR 速度指令  $V_{ETRref}$  と、入側張力電流変換装置からの電流指令  $I_{ETRset}$ 、制御方法選択装置 70 からのトルク一定制御モードを入力として、入側 TR 2 への電流を出力とする。ここで、入側 TR 2 は、TR の機械装置とそれを動かすための電動機より構成されており、入側 TR 2 への電流とは、電動機への電流を示している。

#### 【0096】

入側 TR 制御装置 66 は、速度指令  $V_{ETRref}$  と速度実績  $V_{ETRfb}$  を一致させるように電流指令を作成する P 制御 661 および I 制御 662、作成された電流指令  $I_{ETRref}$  と入側 TR 2 の電動機に流れる電流  $I_{ETRfb}$  が一致するように制御する電流制御 663 より構成される。トルク一定制御モードが選択された場合は、入側張力電流変換装置 15 からの入側 TR 電流設定値  $I_{ETRset}$  で I 制御 662 を置き換える。トルク一定制御モードが選択されない場合（速度一定制御）は、入側 TR 速度偏差にしたがって、P 制御 661 および I 制御 662 を変更する。

#### 【0097】

この状態で、トルク一定制御モードが選択された場合、入側 TR 電流指令  $I_{ETRref}$

10

20

30

40

50



$f$  が不連続に変化しないように、電流補正 664 により補正する。このような構成とすることで、圧延操業中においても、入側 TR 制御装置の制御モードをトルク一定制御から速度一定制御、速度一定制御からトルク一定制御と自在に切り替えることが可能となり、制御方法 A) と制御方法 B) および制御方法 C) を自在に切り替えることができる。

#### 【0098】

以上で述べたような制御構成を用いることで、圧延状態に応じて、制御方法 A)、制御方法 B)、制御方法 C) を切り替えて、出側板厚制御および入側板厚制御に最適な制御構成を選択することができるため、出側板厚精度および操業効率を大幅に向上することが可能となる。また、圧延速度の加減速時において制御方法 B)、C) を切り替える際には、ある程度の張力偏差を許容して出側板厚の安定を優先させる。そのため、圧延速度の加減速時に

10

出側板厚制御を損なうことなく制御方法 B)、C) の切り替えを行うことが可能となり、操業効率の向上を図ることが可能となる。

#### 【0099】

尚、上記実施形態においては、入側張力偏差をデッドバンドで補正し、入側張力偏差補正值を作成したが、張力偏差に応じて張力制御ゲインを変更する等、入側張力制御の動作を制御方法切替時に抑制し、かつ張力偏差が大きい場合は張力制御が動作するような方法で有ればどのような方法を用いてもよい。張力制御ゲインを変更する場合、図 7 において説明したゲインコントローラ 74、76 のゲインを小さくすることにより、張力変動に基づく制御の制御値が小さくなるように抑制することが可能である。

#### 【0100】

また、上記実施形態においては、張力制御のために入側張力計 8 を設ける場合を例として説明した。これに限らず、入側 TR 制御装置 66 による出力電流の実績値と、入側張力電流変換装置 15 が出力する電流指令値との差異に基づいて張力を推定することも可能である。例えば、実績値が指令値よりも高い場合、入側 TR 制御装置 66 は被圧延材の張力を下げようとしている状態であるため、その際の張力は、入側張力設定装置 11 によって設定されている張力よりも高い状態であることが推定できる。

20

#### 【0101】

また、上記実施形態においては、図 4、図 5 において説明したように、圧延実績に応じて制御方法 A)、制御方法 B)、制御方法 C) を切り替えていたが、機械仕様や被圧延材の製品仕様に従って、あらかじめいずれかの制御方法を選択して継続的に使用することも可能である。このような場合において、図 6 において説明したデータベースを用いることが可能である。

30

#### 【0102】

また、上記実施形態においては、入側 TR 2 の制御方法について述べているが同様の構成を、出側 TR 3 の制御方法に適用する事も可能である。圧延機や被圧延材の種類によっては出側張力が板厚に与える影響が大きい場合は出側 TR を操作するほうが効率的である場合もある。

#### 【0103】

また、上記実施形態においては、シングルスタンド圧延機を想定した例を説明しているが、圧延機としてはシングルスタンド圧延機に限らず、多スタンドのタンデム圧延機においても、入側または出側にテンションリールが設置されている場合は適用可能である。即ち、多スタンドのタンデム圧延機全体を圧延機として捉え、多スタンドの圧延機のうち先頭の圧延機とテンションリールとの間の張力や、最後段の圧延機とテンションリールとの間の張力を対象として、上記と同様の制御を行うことが可能である。

40

#### 【0104】

また、図 1 において説明した制御方法選択装置 70 を中心とした圧延制御装置は、ソフトウェアとハードウェアとの組み合わせによって実現される。ここで、本実施形態に係る圧延制御装置の各機能を実現するためのハードウェアについて、図 23 を参照して説明する。図 23 は、本実施形態に係る圧延制御装置を構成する情報処理装置のハードウェア構成を示すブロック図である。図 23 に示すように、本実施形態に係る圧延制御装置は、一

50

般的なサーバやPC ( Personal Computer ) 等の情報処理端末と同様の構成を有する。

【 0 1 0 5 】

即ち、本実施形態に係る圧延制御装置は、CPU ( Central Processing Unit ) 201、RAM ( Random Access Memory ) 202、ROM ( Read Only Memory ) 203、HDD ( Hard Disk Drive ) 204およびI/F 205がバス208を介して接続されている。また、I/F 205にはLCD ( Liquid Crystal Display ) 206および操作部207が接続されている。

【 0 1 0 6 】

CPU 201は演算手段であり、圧延制御装置全体の動作を制御する。RAM 202は、情報の高速な読み書きが可能な揮発性の記憶媒体であり、CPU 201が情報を処理する際の作業領域として用いられる。ROM 203は、読み出し専用の不揮発性記憶媒体であり、ファームウェア等のプログラムが格納されている。

【 0 1 0 7 】

HDD 204は、情報の読み書きが可能な不揮発性の記憶媒体であり、OS ( Operating System ) や各種の制御プログラム、アプリケーション・プログラム等が格納されている。I/F 205は、バス208と各種のハードウェアやネットワーク等を接続し制御する。また、I/F 205は、夫々の装置が情報をやり取りし、若しくは圧延機に対して情報を入力するためのインタフェースとしても用いられる。

【 0 1 0 8 】

LCD 206は、オペレータが圧延制御装置の状態を確認するための視覚的ユーザインタフェースである。操作部207は、キーボードやマウス等、オペレータが圧延制御装置に情報を入力するためのユーザインタフェースである。このようなハードウェア構成において、ROM 203やHDD 204若しくは図示しない光学ディスク等の記録媒体に格納されたプログラムがRAM 202に読み出され、CPU 201がそのプログラムに従って演算を行うことにより、ソフトウェア制御部が構成される。このようにして構成されたソフトウェア制御部と、ハードウェアとの組み合わせによって、本実施形態に係る圧延制御装置の機能が実現される。

【 0 1 0 9 】

尚、上記実施形態においては、各機能が圧延制御装置に全て含まれている場合を例として説明した。このように全ての機能を1つの情報処理装置において実現しても良いし、より多くの情報処理装置に各機能を分散して実現しても良い。

【 0 1 1 0 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明をわかりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部に他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

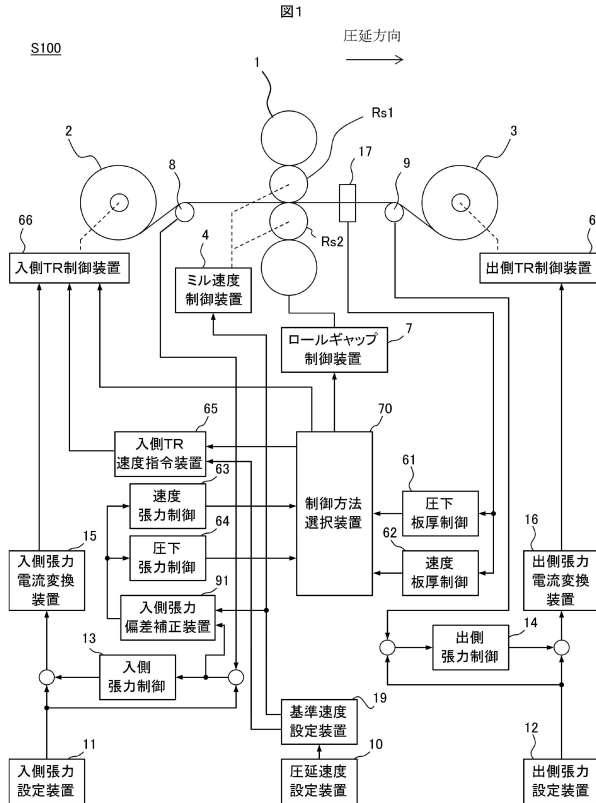
【 符号の説明 】

【 0 1 1 1 】

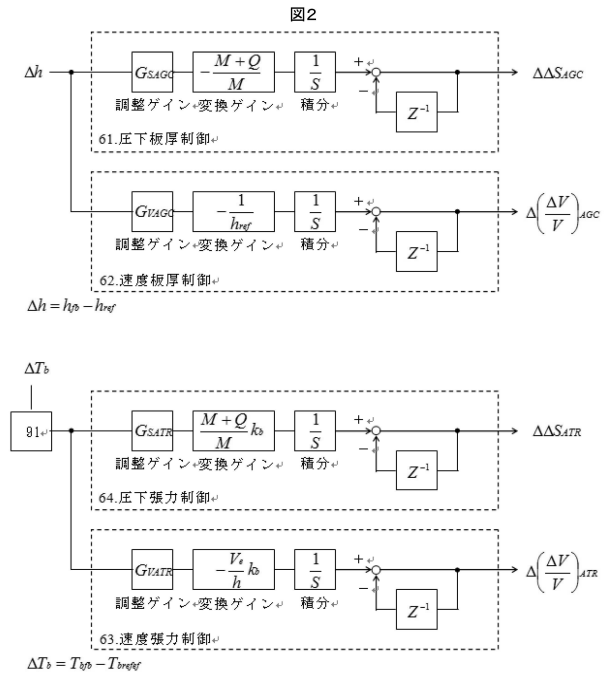
- 1 圧延機
- 2 入側TR
- 3 出側TR
- 4 ミル速度制御装置
- 6 出側TR制御装置
- 7 ロールギャップ制御装置
- 8 入側張力計
- 9 出側張力計

1 0	圧延速度設定装置	
1 1	入側張力計	
1 2	出側張力計	
1 3	入側張力制御	
1 4	出側張力制御	
1 5	入側張力電流変換装置	
1 6	出側張力電流変換装置	
1 7	出側板厚計	
1 8	出側板厚制御装置	
1 9	規準速度設定装置	10
6 1	压下板厚制御	
6 2	速度板厚制御	
6 3	速度張力制御	
6 4	压下張力制御	
6 5	入側 T R 速度指令装置	
6 6	入側 T R 制御装置	
7 0	制御方法選択装置	
7 1	最適制御方法決定装置	
7 2	制御出力選択装置	
7 3、7 4、7 5、7 6	ゲインコントローラ	20
7 7、7 8	積分処理部	
9 1	入側張力偏差補正装置	
9 2	上限許容値設定装置	
9 3	下限許容値設定装置	
9 4	偏差補正部	
2 0 1	C P U	
2 0 2	R O M	
2 0 3	R A M	
2 0 4	H D D	
2 0 5	I / F	30
2 0 6	L C D	
2 0 7	操作部	

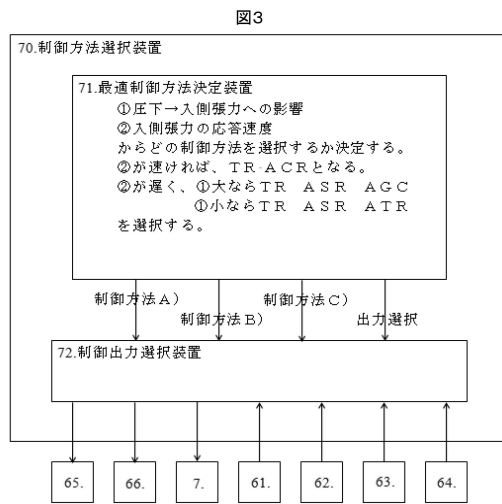
【図 1】



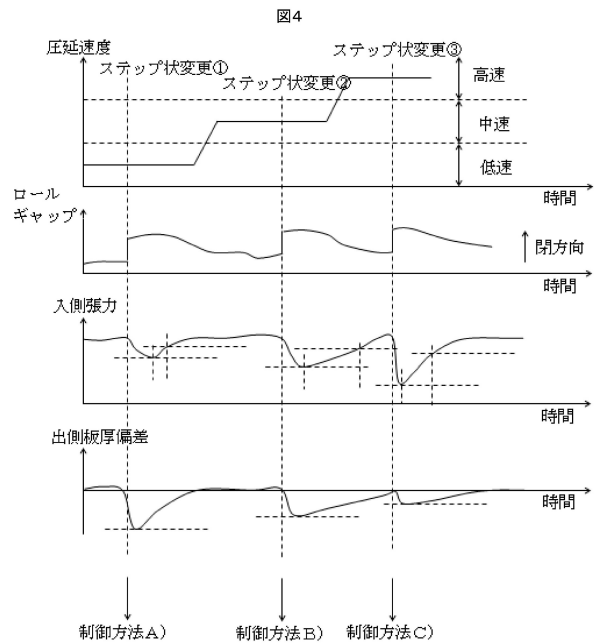
【図 2】



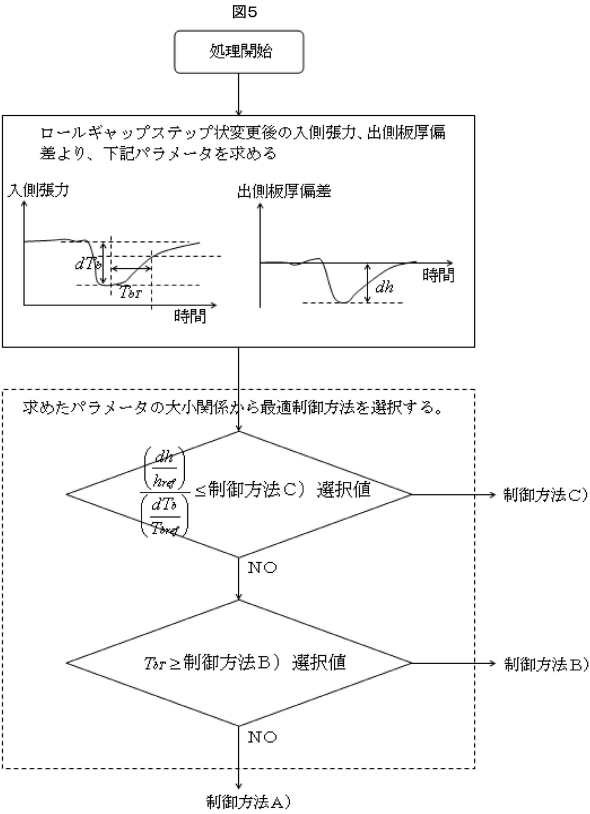
【図 3】



【図 4】



【図5】



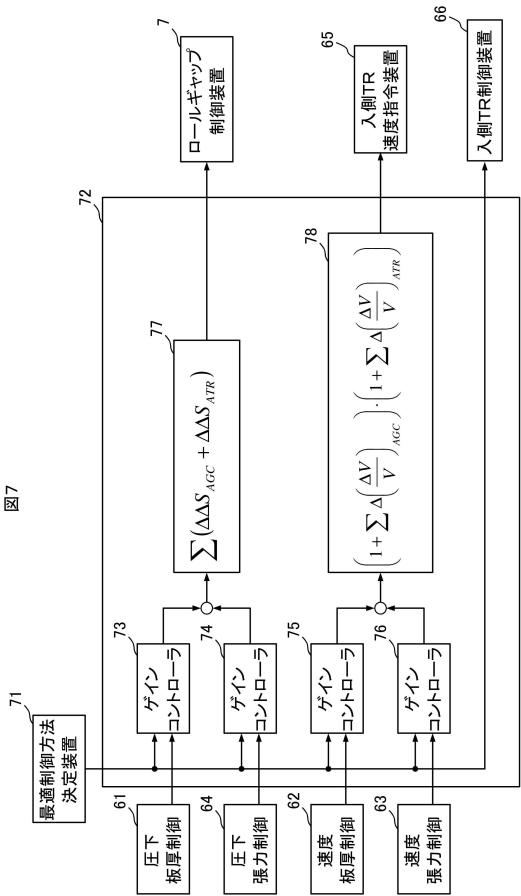
【図6】

図6

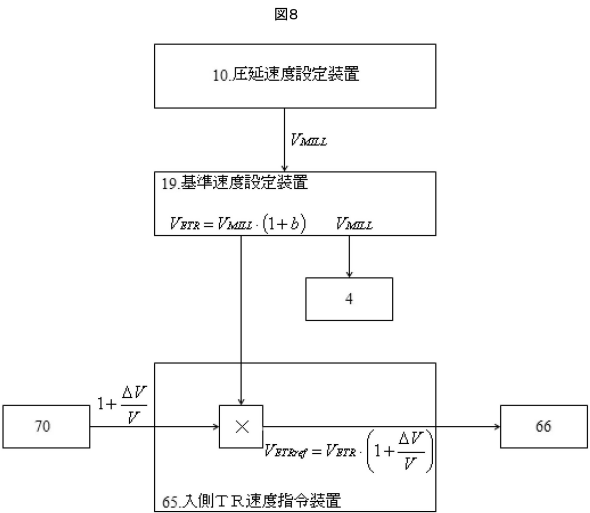
鋼種	出側板厚	速度域	最適制御方法
鋼種A	0.5 mm	低速	制御方法A)
		中速	制御方法B) 制御方法B')
		高速	制御方法C) 制御方法C')

検索キー

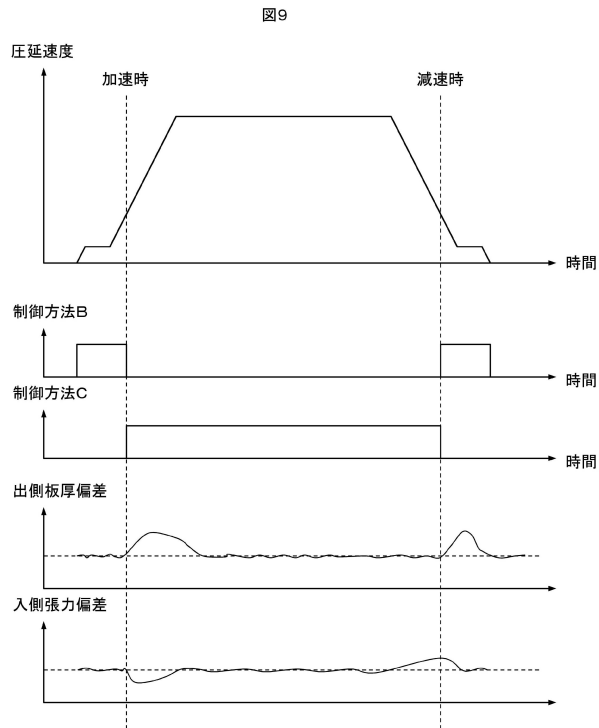
【図7】



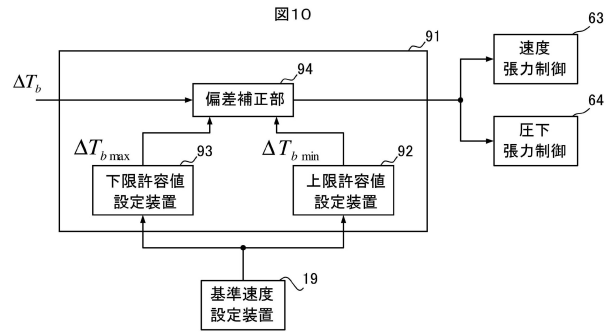
【図8】



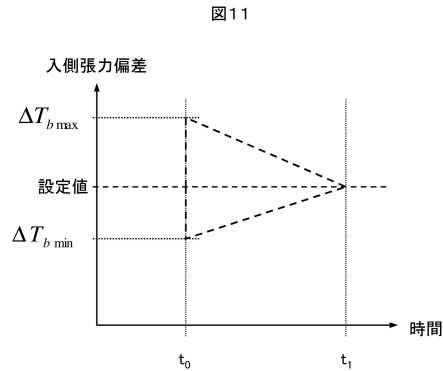
【図 9】



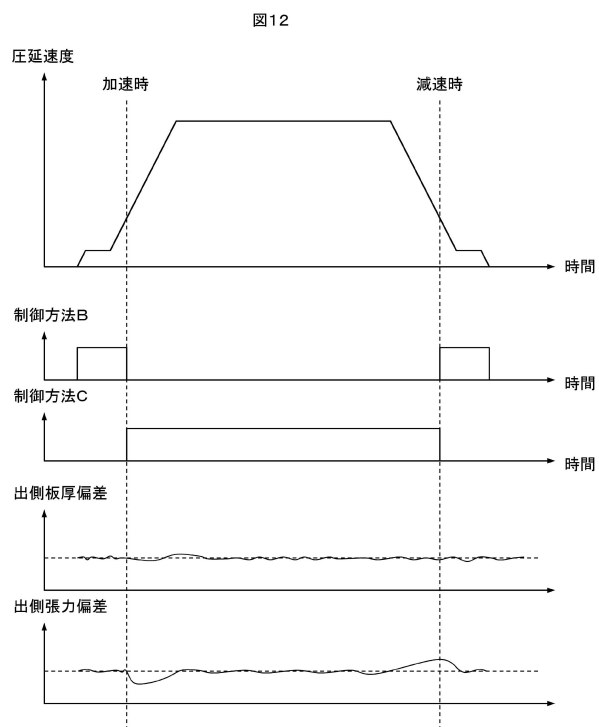
【図 10】



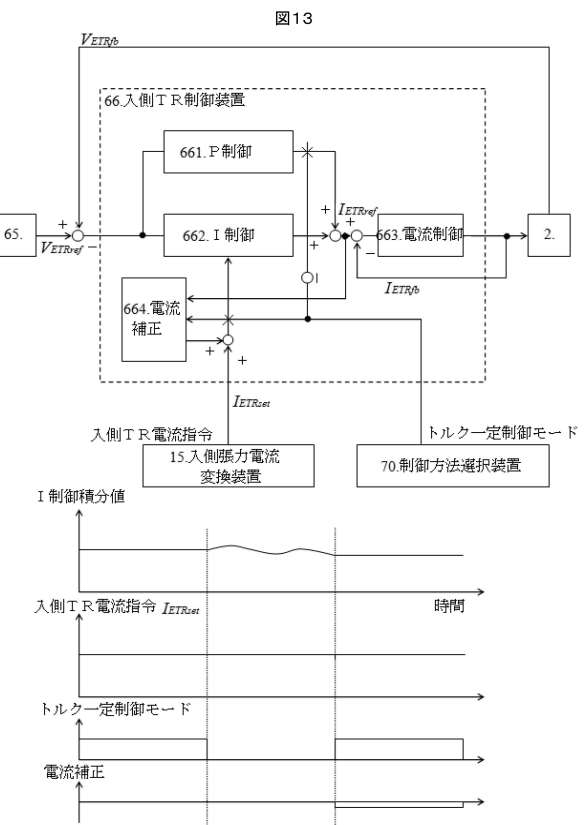
【図 11】



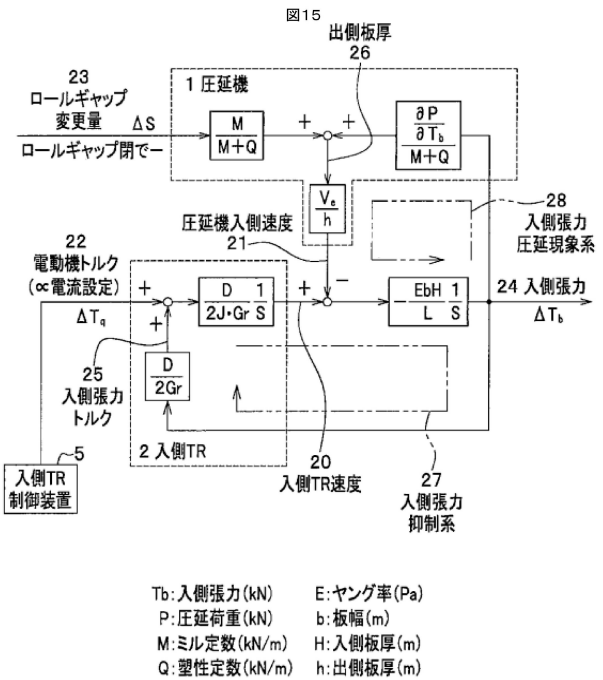
【図 12】



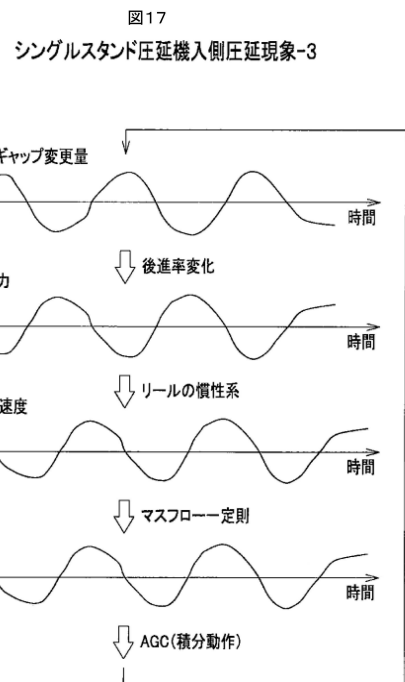
【図 13】



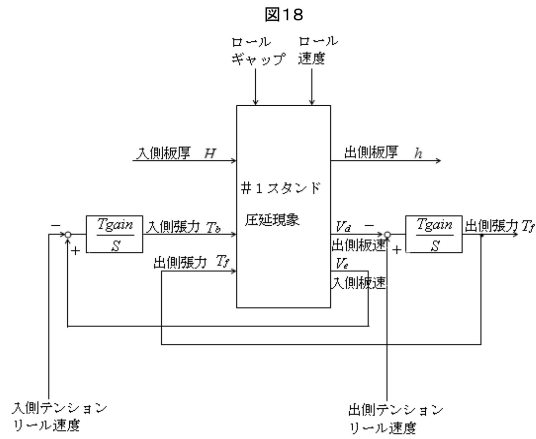
【 図 1 5 】



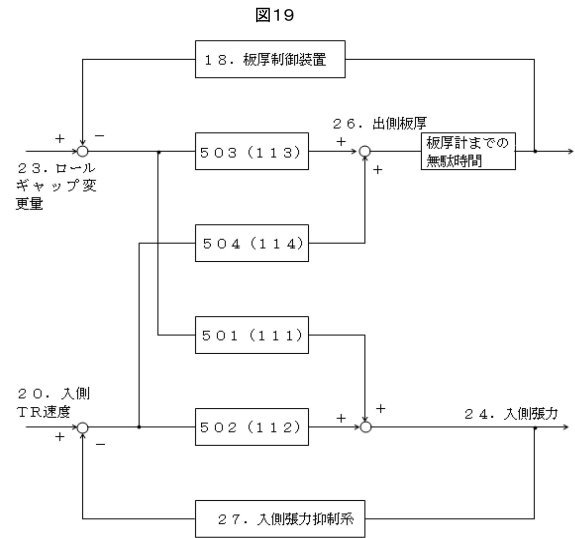
【 図 1 7 】



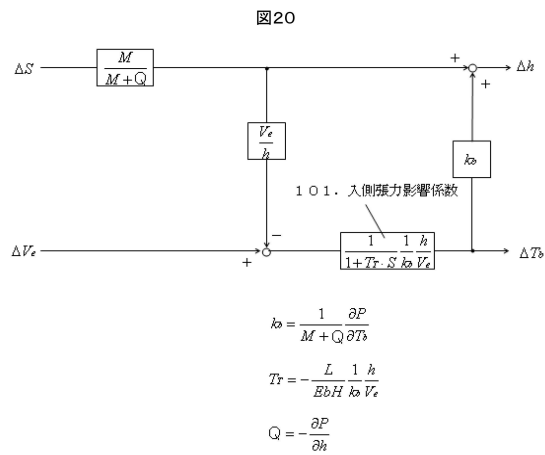
【図 18】



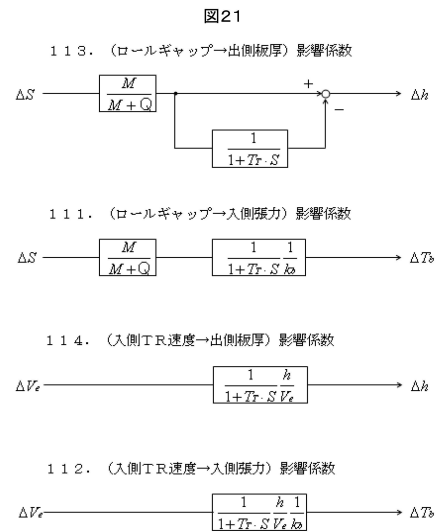
【図 19】



【図 20】

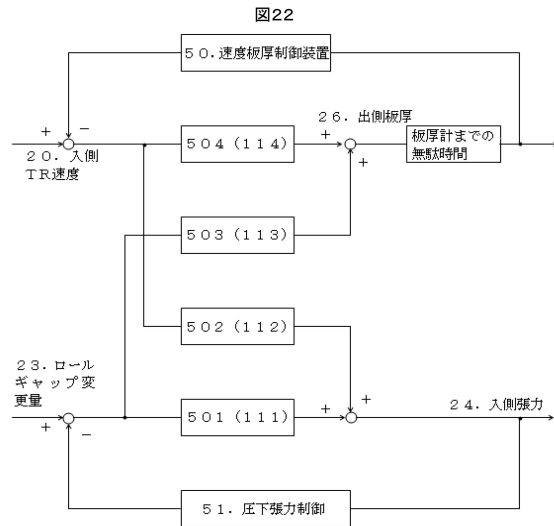


【図 21】

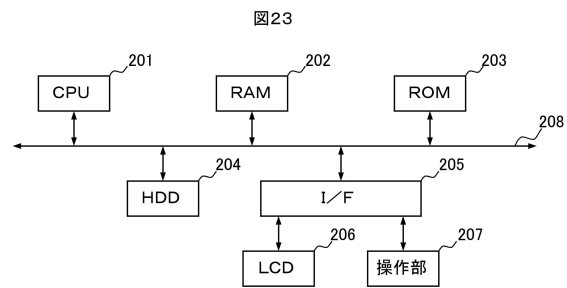




【図 22】



【図 23】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 4 - 1 1 3 6 2 9 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 1 6 2 5 5 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 0 5 8 0 7 9 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
B 2 1 B 3 7 / 0 0 - 3 7 / 7 8