

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6155207号
(P6155207)

(45) 発行日 平成29年6月28日 (2017. 6. 28)

(24) 登録日 平成29年6月9日 (2017. 6. 9)

(51) Int. Cl. F 1
B 2 1 B 37/66 (2006. 01) B 2 1 B 37/66

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-40638 (P2014-40638)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成26年3月3日 (2014. 3. 3)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2015-166093 (P2015-166093A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成27年9月24日 (2015. 9. 24)	(73) 特許権者	714003416
審査請求日	平成28年9月30日 (2016. 9. 30)		日新製鋼株式会社
早期審査対象出願			東京都千代田区丸の内三丁目4番1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
			東京都千代田区外神田一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	佐藤 敏明
			大阪府堺市西区石津西町5番地 日新製鋼
			株式会社内
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を制御する圧延制御装置であって、
前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果に基づき、前記被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を複数抽出する板厚変動周波数抽出部と、
前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値のうち、複数抽出された前記周波数の成分の値のみを選択して出力する変動成分選択出力部と、
抽出された複数の前記周波数の成分の値に基づき、圧延後の前記被圧延材の板厚を制御するための制御出力を行う板厚制御部と、を含み、
前記変動成分選択出力部は、
前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値を、選択して出力する周波数の1周期分を所定数に分割した分割位相毎に記憶媒体に格納し、
前記被圧延材の板厚の検知結果に応じて新たに入力される前記時系列の変動成分に応じた値と、前記選択して出力する周波数の周期における位相の検知結果に応じて前記記憶媒体から読み出した値とを重みづけして出力することにより、前記周波数の成分の値のみを選択して出力し、
前記選択して出力する周波数の周期における位相は、前記ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、前記ロールの回転周期及び前記選択して出力する周波数の1周期

10

20

に基づいて補正することにより取得されることを特徴とする圧延制御装置。

【請求項 2】

前記板厚変動周波数抽出部は、前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の値に対して高速フーリエ変換処理を行い、周波数成分の大きい周波数から順に、前記被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を所定数抽出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】

被圧延材をロール対で圧延する圧延機を制御する圧延制御方法であって、

前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果に基づき、前記被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を複数抽出する板厚変動周波数抽出ステップと、

前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値のうち、複数抽出された前記周波数の成分の値のみを選択して出力する変動成分選択出力ステップと、

抽出された複数の前記周波数の成分の値に基づき、圧延後の前記被圧延材の板厚を制御するための制御出力を行う板厚制御ステップと、を含み、

前記変動成分選択出力ステップでは、

前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値を、選択して出力する周波数の 1 周期分を所定数に分割した分割位相毎に記憶媒体に格納し、

前記被圧延材の板厚の検知結果に応じて新たに入力される前記時系列の変動成分に応じた値と、前記選択して出力する周波数の周期における位相の検知結果に応じて前記記憶媒体から読み出した値とを重みづけして出力することにより、前記周波数の成分の値のみを選択して出力し、

前記選択して出力する周波数の周期における位相は、前記ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、前記ロールの回転周期及び前記選択して出力する周波数の 1 周期に基づいて補正することにより取得されることを特徴とする圧延制御方法。

【請求項 4】

前記板厚変動周波数抽出ステップでは、前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の値に対して高速フーリエ変換処理を行い、周波数成分の大きい周波数から順に、前記被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を所定数抽出することを特徴とする請求項 3 に記載の圧延制御方法。

【請求項 5】

被圧延材をロール対で圧延する圧延機を制御する圧延制御プログラムであって、

前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果に基づき、前記被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を複数抽出する板厚変動周波数抽出ステップと、

前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値のうち、複数抽出された前記周波数の成分の値のみを選択して出力する変動成分選択出力ステップと、

抽出された複数の前記周波数の成分の値に基づき、圧延後の前記被圧延材の板厚を制御するための制御出力を行う板厚制御ステップと、を情報処理装置に実行させ、

前記変動成分選択出力ステップでは、

前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値を、選択して出力する周波数の 1 周期分を所定数に分割した分割位相毎に記憶媒体に格納し、

前記被圧延材の板厚の検知結果に応じて新たに入力される前記時系列の変動成分に応じた値と、前記選択して出力する周波数の周期における位相の検知結果に応じて前記記憶媒体から読み出した値とを重みづけして出力することにより、前記周波数の成分の値のみを選択して出力し、

前記選択して出力する周波数の周期における位相は、前記ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、前記ロールの回転周期及び前記選択して出力する周波数の 1 周期

10

20

30

40

50

に基づいて補正することにより取得されることを特徴とする圧延制御プログラム。

【請求項 6】

前記板厚変動周波数抽出ステップでは、前記ロール対で圧延された後の前記被圧延材の板厚の検知結果の時系列の値に対して高速フーリエ変換処理を行い、周波数成分の大きい周波数から順に、前記被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を所定数抽出することを特徴とする請求項 5 に記載の圧延制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

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、被圧延材に発生する周期的な板厚変動の抑制制御に関する。

【背景技術】

【0002】

圧延機は、いくつかのロールより構成されるが、各ロールの偏心によって圧延機出側板厚変動が発生する場合がある。そのような場合、ロール偏心制御が適用される。ロール偏心制御は、計算機のソフト処理により出側板厚偏差に含まれるロール偏心に対応する周波数成分を抽出し、それが除去される方向にロールギャップを操作することで行われる。

【0003】

図 4 に、一般的なシングルスタンド圧延機の制御構成を示す。シングルスタンド圧延機は、圧延機 1 の圧延方向に対して入側に入側 T R (テンションリール) 2、出側に T R 3 が設けられ、入側 T R 2 から巻き出された被圧延材を圧延機 1 で圧延した後、出側 T R 3 で巻き取る事により被圧延材が圧延される。圧延機 1 には、ロールギャップを変更する事で被圧延材の板厚を制御する事を可能とするためのロールギャップ制御装置 7 と圧延機 1 の速度を制御するためのミル速度制御装置 4 が接続されている。入側 T R 2 および出側 T R 3 は電動機にて駆動されるが、その電動機を駆動するための装置として、入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 が設置される。

20

【0004】

圧延時は、圧延速度設定装置 10 よりミル速度制御装置 4 に対して速度指令が出力され、ミル速度制御装置 4 は、圧延機 1 の速度を一定とするような制御を実施する。圧延機 1 の入側、出側では、被圧延材に張力をかける事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 11 および出側張力設定装置 12 である。

30

【0005】

入側張力電流変換装置 15 および出側張力電流変換装置 16 は、入側張力設定装置 11 および出側張力設定装置 12 にて計算された入側および出側張力設定値に基づき、設定張力を被圧延材に加えるために必要な電動機トルクを得るための電流値を計算して、入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 に入力する。入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 では、入側張力電流変換装置 15 および出側張力電流変換装置 16 から入力された電流となるように電動機電流を制御する。これにより、電動機電流より入側 T R 2 および出側 T R 3 に与えられる電動機トルクにより被圧延材に所定の張力が与えられる。

40

【0006】

張力電流変換装置 15、16 は、T R 機械系および T R 制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。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 13 および出側張力制御 14 により張力設定値に補正を加えて張力電流変換装置 15、16 に与える。これにより、入側 T R 制御装置 5 および出側 T R 制御装置 6 へ設定される電流値の誤差が補正される。

【0007】

また、被圧延材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。圧延機 1

50

出側の板厚は、出側板厚計 17 にて検出された実績板厚より出側板厚制御装置 18 が圧延機 1 のロールギャップをロールギャップ制御装置 7 を用いて操作することで制御される。

【0008】

ロール偏心とは、圧延機の作業ロール、中間ロール、バックアップロール各ロールの偏心のことであり、その原因は、例えば、ロールの研磨精度に起因するロールの回転方向半径の不均一等である。そのため、ロール 1 回転に対応する周波数の整数倍でフィルタリング処理を行い、ロール偏心周波数成分の板厚偏差を抽出してロールギャップを操作する事で制御を行う。

【0009】

偏心に関する制御としては、従来よりコイルの半径変動の影響による圧延機出側板厚変動を抑制するためのリール偏心抑制制御が行なわれている（例えば、特許文献 1、2 参照）。コイルとは、円筒形状に巻かれた状態の被圧延材の事である。この半径変動は、即ち被圧延材を巻出し、若しくは巻き取るテンションリールの半径変動であり、リール偏心と呼ばれる。リール偏心抑制制御の方法としては、圧延機出側板厚変動の実測値や、圧延機入出側の張力変動からのリールの半径変動に起因する出側板厚変動の予測値に基づく方法が用いられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献 1】特開昭 63 - 140720 号公報

【特許文献 2】特許第 3055764 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従来のロール偏心制御は、ロールに起因する周波数成分を制御対象としているため、被圧延材の母材に既に含まれている周期的変動は除去できない。母材に既に含まれている周期的変動としては、圧延の前工程において発生した周期的変動等が考えられる。これに対して、現工程のロールの周波数成分に加えて、前工程のロールの周波数成分など、発生する可能性のある周波数成分をすべて制御対象としてフィルタリングする態様が考えられるが、夫々の周波数成分について偏心が発生しているとは限らず、その場合、無駄な処理となってしまう。

【0012】

本発明の目的は、被圧延材を圧延するロールの偏心に限らず、圧延された被圧延材に現れる周期的な板厚変動を効果的に抑制することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の一態様は、被圧延材をロール対で圧延する圧延機を制御する圧延制御装置であって、ロール対で圧延された後の被圧延材の板厚の検知結果に基づき、被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を複数抽出する板厚変動周波数抽出部と、ロール対で圧延された後の被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値のうち、複数抽出された周波数の成分の値のみを選択して出力する変動成分選択出力部と、抽出された複数の周波数の成分の値に基づき、圧延後の被圧延材の板厚を制御するための制御出力を行う板厚制御部と、を含み、変動成分選択出力部は、被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値を、選択して出力する周波数の 1 周期分を所定数に分割した分割位相毎に記憶媒体に格納し、被圧延材の板厚の検知結果に応じて新たに入力される時系列の変動成分に応じた値と、選択して出力する周波数の周期における位相の検知結果に応じて記憶媒体から読み出した値と、を重みづけして出力することにより、周波数の成分の値のみを選択して出力し、選択して出力する周波数の周期における位相は、ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、ロールの回転周期及び選択して出力する周波数の 1 周期に基づいて補正することにより取得されることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の他の態様は、被圧延材をロール対で圧延する圧延機を制御する圧延制御方法であって、ロール対で圧延された後の被圧延材の板厚の検知結果に基づき、被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を複数抽出する板厚変動周波数抽出ステップと、ロール対で圧延された後の被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値のうち、複数抽出された周波数の成分の値のみを選択して出力する変動成分選択出力ステップと、抽出された複数の周波数の成分の値に基づき、圧延後の被圧延材の板厚を制御するための制御出力を行う板厚制御ステップと、を含み、変動成分選択出力ステップでは、被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値を、選択して出力する周波数の1周期分を所定数に分割した分割位相毎に記憶媒体に格納し、被圧延材の板厚の検知結果に応じて新たに入力される時系列の変動成分に応じた値と、選択して出力する周波数の周期における位相の検知結果に応じて記憶媒体から読み出した値とを重みづけして出力することにより、周波数の成分の値のみを選択して出力し、ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、選択して出力する周波数の周期における位相は、ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、ロールの回転周期及び選択して出力する周波数の1周期に基づいて補正することにより取得されることを特徴とする。

10

【 0 0 1 5 】

また、本発明の更に他の態様は、被圧延材をロール対で圧延する圧延機を制御する圧延制御プログラムであって、ロール対で圧延された後の被圧延材の板厚の検知結果に基づき、被圧延材の搬送方向長さにおいて周期的に生じている板厚変動の周波数を複数抽出する板厚変動周波数抽出ステップと、ロール対で圧延された後の被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値のうち、複数抽出された周波数の成分の値のみを選択して出力する変動成分選択出力ステップと、抽出された複数の周波数の成分の値に基づき、圧延後の被圧延材の板厚を制御するための制御出力を行う板厚制御ステップと、を情報処理装置に実行させ、変動成分選択出力ステップでは、被圧延材の板厚の検知結果の時系列の変動成分に応じた値を、選択して出力する周波数の1周期分を所定数に分割した分割位相毎に記憶媒体に格納し、被圧延材の板厚の検知結果に応じて新たに入力される時系列の変動成分に応じた値と、選択して出力する周波数の周期における位相の検知結果に応じて記憶媒体から読み出した値とを重みづけして出力することにより、周波数の成分の値のみを選択して出力し、選択して出力する周波数の周期における位相は、ロール対を構成するロールの回転位相の検知結果を、ロールの回転周期及び選択して出力する周波数の1周期に基づいて補正することにより取得されることを特徴とする。

20

30

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本発明によれば、被圧延材を圧延するロールの偏心に限らず、圧延された被圧延材に現れる周期的な板厚変動を効果的に抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【 0 0 1 7 】

【図1】本発明の実施形態に係る圧延制御装置における偏心制御の制御構成を示す図である。

【図2】本発明の実施形態に係る出側板厚変動の周波数成分を示す図である。

【図3】本発明の実施形態に係る圧延制御における速度変動を示す図である。

【図4】一般的な圧延制御装置の制御構成を示す図である。

【図5】一般的な圧延制御装置における偏心制御の制御構成を示す図である。

【図6】定長フィルターの構成を示す図である。

【図7】定長フィルターの特性を示す図である。

【図8】ロールギャップ制御装置の応答特性を示す図である。

50

【図 9】定長フィルターのフィルターテーブルの構成を示す図である。

【図 10】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】

【0018】

以下、1台の圧延機に本発明を適用する場合につき説明する。1台の圧延機は、シングルスタンド圧延機でも、タンデム圧延機の特定のスタンドでも良い。本実施形態に係る圧延制御装置を説明するための前提として、従来技術に係るロール偏心制御の態様について説明する。図5は、従来技術に係るロール偏心制御の制御構成を示すブロック図である。一般的なロール偏心制御においては、圧延機1の出側に設置された出側板厚計17によって検知された板厚偏差を、ソフトフィルター101によりフィルタリング処理することで被圧延材上の一定長さ周期の板厚偏差を抽出する。

10

【0019】

そして、出側板厚の検知結果に基づいて圧延機1のロールギャップの指令値を出力する出側板厚制御装置18が、ソフトフィルター101による抽出結果に基づき、ロールギャップ制御装置7に入力する指令値を調整する。これにより、被圧延材において一定長さ周期で発生している板厚偏差に応じたロールギャップ制御が実現される。

【0020】

出側板厚計17は、圧延機1から離れた位置に設置されるため、圧延機1にて圧延された被圧延材の板厚を検知するまでに無駄時間が生じる。そのため、出側板厚計17にて測定された出側板厚偏差を圧延機1におけるロール角度に変換する位相合わせが必要となる。それを行うのが位相合わせ装置110である。

20

【0021】

位相合わせ装置110によって圧延機1のロール角度と位相が合わせられた出側板厚計17の検知結果は、出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置111に入力される。出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置111は、出側板厚計17の検知結果、即ち板厚をロールギャップの制御量に換算して、ソフトフィルター101に入力する。これにより、ソフトフィルター101が、ロール周長に対応する長さで定長フィルタリング処理を行う。

【0022】

ここで、周波数でなく長さでフィルタリング処理を実施するのは、圧延機1は停止状態から最大速度まで加速し、減速して停止するといった速度を変更する操作を実施するためである。圧延機1の加減速中であっても、ロール偏心制御を実施するためには、一定長さでフィルタリング処理を実施する必要がある。また、圧延は上下ロール間で被圧延材を潰す事で行われるが、その時の上下ロール間隔の機械的振動により発生する板厚変動を除去するのがロール偏心制御の目的であるから、一定長さでフィルタリングする必要がある。

30

【0023】

ソフトフィルター101においては、回転検知器19によって検知される圧延機1のワークロールの回転角度に基づいてフィルタリングを行う。定長フィルターであるソフトフィルター101の構成を図6に示す。ブロック図に示すように、ソフトフィルター101は、一定長の無駄時間要素 e^{-Ts} と、フィルターゲイン G_1 、 G_2 、 G_3 より構成される。一定長の無駄時間 T に応じて、入力 x から出力 y までの、ゲインおよび位相が図6下部の式で定まる。

40

【0024】

ソフトフィルター101のゲイン特性、位相特性の一例を図7に示す。横軸の規格化周波数は、無駄時間 T の逆数を1とした場合の周波数である。規格化周波数が整数のところではゲインが1となっており、ソフトフィルター101は、無駄時間 T に相当する周波数の整数倍の周波数成分も抽出する。

【0025】

従来制御においては、バックアップロール（以下BURと省略）のロール偏心の除去が目的であったことから、BUR径 D_{BUR} と圧延速度 V から決定されるBUR回転周波数 f_{BUR} でフィルタリング処理を実施していた。BURは、表面が傷ついた場合等、研磨

50

処理して使用される。研磨処理の不均一がロール偏心の一因である。この場合、ロール偏心の周波数は、BUR径の1倍の周波数となる。

【0026】

また、圧延加工により発熱したBURが、不均一に冷却されることでもロール偏心が発生する。この場合、ロール偏心の周波数は、BUR径の2倍周波数となる。ソフトフィルター101により、BUR径に対応する周波数成分のフィルターを構成した場合、その整数倍の周波数についても抽出されるため、2倍以上の周波数成分についても制御が行われることになる。

【0027】

図8にロールギャップ制御装置7の、応答特性の一例を示す。図8に示すように、周波数に応じて、ゲインおよび位相が変化する。そのため、出力タイミング調整装置120が、BUR偏心周波数に応じて、制御出力の位相を調整してロールギャップ制御装置7に制御出力を行う。例えば、BUR偏心周波数が1Hzの場合、実績の位相が50度、ゲインが1であることから、ロールギャップ制御装置7はロールギャップ指令に対して、50度手前のロールギャップ指令を取り出して出力すれば良い。その結果、実際のロールギャップが、当該位置がロール直下となった時に目的となるようにすることができる。

【0028】

ソフトフィルター101は、図9に示すように、ロール1回転をn分割し、各々の分割点に対応するn個のメモリ領域を確保する。そして、ロールの回転に応じて、ロール直下に圧延材が来た時点で、1回転前のデータと今回のデータを用いて図6に示すような演算を行い、その結果をロール直下位置のメモリに書き戻すことでフィルタリングを実施する。図9の場合、ロール直下位置に対応する1番のメモリからデータを読み出し、今回の板厚偏差から図6に示す演算を行い、1番のメモリに書き戻す。この操作を繰り返すことにより、n個のメモリより構成されるフィルターテーブル121上には、ロール1回転に対応したフィルタリング結果が格納される。

【0029】

出力タイミング調整装置120は、図8において説明したような周波数に対する応答特性に応じた位相遅れの設定値に応じて、ロール直下位置のメモリから、何個手前のメモリのデータを制御出力として出力するかを判定する。ロール直下位置に対応するメモリが1番である場合において、2個手前のメモリと判断されたら、3番のメモリの内容を取り出し、制御ゲインを乗算して出側板厚制御装置18へ出力する。

【0030】

ソフトフィルター101では、BUR偏心周波数成分を抽出した場合、その整数倍の周波数成分も抽出される。その場合、整数倍の周波数成分についてはロールギャップ制御装置7のゲイン、位相共に1倍の場合と異なる。そのため、例えば4倍周波数成分については、位相が1倍周波数に比べて90度以上ずれてしまう。位相が90度以上ずれた状態で偏心抑制のための制御を加えると、偏心による板厚偏差をむしろ増大させてしまうことになる。即ち、4倍周波数成分が増大してしまう場合がある。

【0031】

被圧延材は、圧延機に来るまでに複数段階の加工が施されている。それぞれの加工装置においては、種々の直径を持つロールにより加工が実施されるため、被圧延材には種々の周波数成分の板厚変動が印加されることになる。

【0032】

これらは、板厚変動のみならず、硬さの変動や表面状態の変動となって被圧延材上に、定長周期変動として残る。従って、圧延機においては、入側板厚偏差として、上工程での加工結果による定長周期変動が存在するため、複数の定長周期板厚変動成分が存在することになる。被圧延材の条件によっては、圧延機のロール偏心成分よりも、上工程で被圧延材に作りこまれた、定長周期の板厚変動成分の方が大きい場合も存在する。

【0033】

その様な場合、圧延機1の入側に板厚計が設置されている場合は、入側板厚偏差を用い

10

20

30

40

50

たフィードフォワード制御が可能である。しかしながら、入側に板厚計が設置されていない場合は、フィードフォワード制御を行うことができない。また、上述したソフトフィルタ－１０１では、予め設定された周波数成分前提としてフィルタリング処理を行う。図５の説明においては、ＢＵＲ偏心周波数成分を前提としてフィルタリング処理を行っている。

【００３４】

これに対して、上工程において発生した周期的な板厚変動を抑制する場合、夫々の板厚変動の原因となっているロール等の周期、即ち円周長に基づいて周波数成分を設定することとなる。しかしながら、被圧延材は圧延加工により押しつぶされるため、板厚だけでなく板長さも変化する。ある加工段階において、その加工装置に含まれるロールのロール径に応じた板厚変動が発生した場合、次の加工において被圧延材自体が伸びるため、既に被圧延材に発生していた板厚変動の周期が変化する。従って、上工程において用いられているロールの円周長は、現工程において被圧延材に発生している周期的板厚変動の正確な周波数に対応していない。

【００３５】

これに対して、圧延機１の出側板厚計１７で測定した出側板厚偏差に含まれる板厚変動成分の周波数を抽出できれば、入側板厚計が設置されていない場合や、被圧延材に既に発生している板厚偏差の周期が、上工程において用いられているロールの円周長に対応していない場合であっても、フィードフォワード制御が可能となる。それを実現するのが本発明であり、以下どのようにして実現するかを説明する。

【００３６】

図１は、本実施形態に係る圧延制御装置のうち、圧延後の被圧延材において周期的に発生する板厚変動を抑制するための制御構成を示すブロック図である。本実施形態に係る圧延制御装置は、複数の周波数成分について、板厚の変動を抑制するものであり、多定長周期変動制御装置と呼ぶことができる。

【００３７】

本実施形態に係る多定長周期変動制御装置による周期的な変動の抑制処理は、圧延機１の出側板厚計１７によって測定された出側板厚偏差から、定長周期の板厚変動成分を抽出してロールギャップ制御装置７に制御出力を行うことで実現される。ここで、定長フィルタ－６０－１、定長フィルタ－６０－２、・・・定長フィルタ－６０－ n （以降、総じて「定長フィルタ－６０」とする）は、図５において説明したソフトフィルタ－１０１と同じ構成であり、１つの定長フィルタ－６０で、１つの周波数成分のみフィルタリング処理する。

【００３８】

ここで、本実施形態に係る定長フィルタ－６０は、フィルタリングする周波数成分の周期が、圧延機１のロールの円周長に対応しているとは限らない。そのため、回転検知器１９によって検知される圧延機１のワークロールの回転角度では、フィルタリング対象の周波数成分に対応した位相とはならない。そのため、図１に示すように、圧延機１のワークロールのロール径 D_{work} と、フィルタリング対象の周波数成分のフィルタリング周期 L_n とに基づいて、回転検知器１９の検知結果の補正を行う。この、回転検知結果の補正処理により、定長フィルタ－６０におけるフィルタ－テーブル１２１の構成は、図９に示す構成と同一の構成を用いることが可能となる。

【００３９】

前述したように、ソフトフィルタ－１０１は、設定周波数の整数倍の周波数成分も抽出し、周波数によって位相遅れ量が異なるため、位相遅れ補正が困難である。そこで、本実施形態に係る圧延制御において、定長フィルタ－６０は、フィルタリング結果が格納されているフィルタ－テーブル１２１に対して処理を行うことで１倍周波数成分以外の n 倍周波数成分を抑制する。

【００４０】

例えば、定長フィルタ－６０は、２倍周波数に対応する周期で移動平均処理を実施する

10

20

30

40

50

。これは、フィルターテーブル 1 2 1 の各メモリに対して、前後 $n / 4$ 個のメモリの和をとって $n / 2 + 1$ で除算し、該当するメモリに書き込むことで実現できる。これにより、1 倍周波数成分以外の n 倍周波数成分を抑制する事が可能である。

【 0 0 4 1 】

このように、 n 倍周波数成分の抑制機能を設けることにより、定長フィルター 6 0 とし、単一長さの定長フィルターを構成する事が出来る。この定長フィルターを、予め必要 n 個用意しておく。ここで、 n 個は出側板厚偏差に含まれる主な周波数成分が何個くらいあるかに従って決定する。

【 0 0 4 2 】

周波数分析装置 5 1 は、圧延機 1 の搬送方向出側に配置された出側板厚計 1 7 によって測定された時系列の測定結果を周波数分析する。周波数分析装置 5 1 は、FFT (Fast Fourier Transform) 処理により、出側板厚偏差に含まれる周波数成分とその大きさを求める。図 2 にその一例を示す。図 2 においては、出側板厚偏差の周波数成分を実線で示すと共に、入側板厚偏差の周波数成分を破線で示している。図 2 に示すように、出側板厚偏差には、様々な周波数成分が含まれており、その多くが入側板厚偏差に起因している、即ち、入側板厚偏差の周波数成分と同一の周波数成分である。

【 0 0 4 3 】

周波数成分選択装置 5 2 においては、周波数分析装置 5 1 の周波数分析結果から、制御対象とすべき出側板厚偏差の周波数成分を決定する。種々の方法が考えられるが、ここでは最も単純な方法として、周波数成分の大きな順に n 個選択する。これにより、板厚変動に大きな影響を及ぼしている周波数成分を選択することができる。結果として、周波数 f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_n が選択される。即ち、本実施形態においては、周波数分析装置 5 1 及び周波数成分選択装置 5 2 が連動して、板厚変動周波数抽出部として機能する。

【 0 0 4 4 】

フィルタリング長さ設定装置 5 3 においては、周波数成分選択装置 5 2 にて選択した周波数 f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_n 夫々について、その際の圧延速度 V から、定長フィルター 6 0 に設定するフィルタリング長さ L_1 、 L_2 、 \dots 、 L_n を演算する。また、圧延速度が異なると先進率 (forward slip: fs) が変化するため、フィルタリング長さの演算に際しては、周波数分析の際の圧延速度における先進率 fs_1 と、定長フィルター 6 0 によるフィルタリング時の圧延速度における先進率 fs_2 とを考慮する必要がある。従って、フィルタリング長さ L_i は、 $i = 1, 2, \dots, n$ として、以下の式 (1) により求められる。このようにして求められた L_i が、回転検知器 1 9 によって検知される圧延機 1 のワークロールの回転角度を補正するためのパラメータとして設定される。

$$L_i = f_i \times V \times \left(\frac{1-fs_1}{1-fs_2} \right) \quad (1)$$

【 0 0 4 5 】

図 3 は、本実施形態に係る多定長周期変動制御の制御タイミングを示す図である。圧延は、圧延速度を変化させて実施される。そのため、圧延速度一定の状態、前述したように定長フィルター 6 0 に設定するフィルタリング長さを演算し、それを複数の定長フィルター 6 0 夫々に設定する。これにより、夫々の定長フィルター 6 0 において、設定されたフィルタリング長さでのフィルタリング処理が実行され、制御出力が行われることによって多定長周期変動制御が実現される。

【 0 0 4 6 】

図 3 に示すように、制御中は圧延速度が変化するため、出力周波数演算装置 5 4 においては、実際の圧延速度を V' として、以下の式 (2) により、各定長フィルター 6 0 の設定長さの周波数 f_i' を求める。

$$f_i' = L_i/V' \quad (2)$$

【 0 0 4 7 】

位相遅れ設定装置 55 は、上記式 (2) によって夫々求められた定長フィルタ 60 の設定長さの周波数 f_i' 夫々に応じて、図 8 において説明したロールギャップ制御装置の応答特性を考慮し、出力タイミング調整装置 120 への位相遅れ設定値を出力する。図 8 において説明したような、周波数に応じた位相遅れ設定値は、周波数応答 DB 56 に予め格納されている。このような構成により、圧延機 1 の出側板厚計 17 にて測定した、出側板厚偏差より、一定長さの周期的変動を抽出して制御する事が可能となる。

10

【 0 0 4 8 】

このような周波数分析装置 51 ~ 位相遅れ設定装置 55 の機能により、定長フィルタ 60 は、出側板厚計 17 によって検知された出側板厚から換算されたロールギャップ換算値のうち、設定された周波数の成分の値のみを出力する。即ち、定長フィルタ 60 が、変動成分選択出力部として機能する。また、そのようにして出力されたロールギャップ換算値に基づいてロールギャップ制御装置 7 への制御出力を行う出側板厚制御装置 18 が、板厚制御部として機能する。

【 0 0 4 9 】

本実施形態に係る圧延制御装置によれば、出側板厚の検知結果の時系列変動を周波数解析することによって、被圧延材に発生している板厚変動の周波数成分を周期変動周波数として抽出する。そして、出側板厚の検知結果に応じて得られたロールギャップの制御量を、周期変動周波数に基づいてフィルタリングして、出側板厚制御装置 18 に入力する。

20

【 0 0 5 0 】

これにより、出側板厚制御装置 18 は、出側板厚の検知結果に基づくリアルタイムのフィードバック制御に加えて、複数の定長フィルタ 60 から入力される周期変動周波数に応じたロールギャップ制御量に基づくフィードフォワード制御を行うこととなる。従って、本実施形態に係る圧延制御装置によれば、被圧延材を圧延する圧延機 1 のワークロールの円周長の周期に応じた周期変動に限らず、被圧延材に既に発生している周期変動を抑制することが可能となる。

【 0 0 5 1 】

30

尚、上記実施形態においては、出側板厚制御装置 18 を通じてロールギャップ制御装置 7 を制御操作端とする場合を例として説明した。ここで、出側板厚は、出側板厚計 17 によって制御される圧延機 1 のロールギャップの他、マスフロー一定則に従えば、被圧延材の搬送速度にも影響される。従って、ロールギャップではなく、入側 TR 2 若しくは出側 TR 3 の回転を制御操作端としても良い。入側 TR 2、出側 TR 3 の回転の制御態様としては、入側 TR 2 の速度や回転トルクを制御する態様がある。尚、マスフロー一定則とは、圧延の前後において、板厚と搬送速度との積が一定である法則である。

40

【 0 0 5 2 】

また、図 1 において説明した、圧延制御装置の構成は、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 10 を参照して説明する。図 10 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 10 に示すように、本実施形態に係る圧延制御装置は、一般的なサーバや PC (Personal Computer) 等の情報処理端末と同様の構成を有する。

【 0 0 5 3 】

即ち、本実施形態に係る圧延制御装置は、CPU (Central Processing Unit) 301、RAM (Random Access Memory) 302

50

、ROM (Read Only Memory) 303、HDD (Hard Disk Drive) 304およびI/F 305がバス308を介して接続されている。また、I/F 305にはLCD (Liquid Crystal Display) 306および操作部307が接続されている。

【0054】

CPU 301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 302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 301が情報を処理する際の作業領域として用いられる。ROM 303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。

【0055】

HDD 304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 305は、バス308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 305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。

【0056】

LCD 306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307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 303やHDD 304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 302に読み出され、CPU 301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。

【符号の説明】

【0057】

- 1 圧延機
- 2 入側TR
- 3 出側TR
- 4 ミル速度制御装置
- 5 入側TR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
- 10 圧延速度設定装置
- 11 入側張力設定装置
- 12 出側張力設定装置
- 13 入側張力制御装置
- 14 出側張力制御装置
- 15 入側張力電流変換装置
- 16 出側張力電流変換装置
- 17 出側板厚計
- 18 出側板厚制御装置
- 19 回転検知器
- 51 周波数分析装置
- 52 周波数成分選択装置
- 53 フィルタリング長さ設定装置
- 54 出力周波数演算装置
- 55 位相遅れ設定装置

10

20

30

40

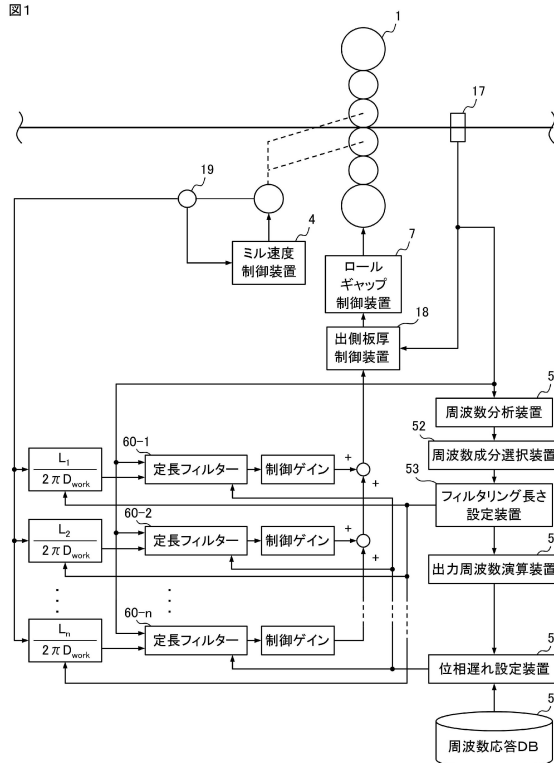
50

- 5 6 周波数応答 D B
 6 0、6 0 - 1、6 0 - 2、6 0 - n 定長フィルター
 1 0 1 ソフトフィルター
 1 1 0 位相合わせ装置
 1 1 1 出側板厚偏差 - ロールギャップ換算装置
 1 2 0 出力タイミング調整装置
 1 2 1 フィルターテーブル
 3 0 1 C P U
 3 0 2 R A M
 3 0 3 R O M
 3 0 4 H D D
 3 0 5 I / F
 3 0 6 L C D
 3 0 7 操作部

10

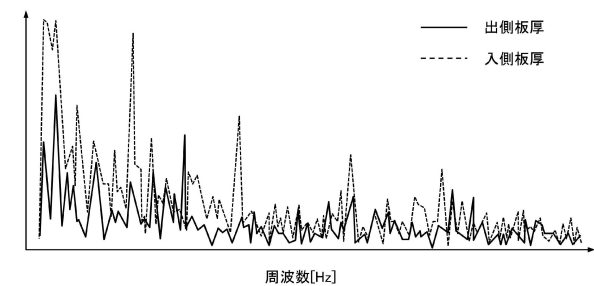
【図 1】

図 1



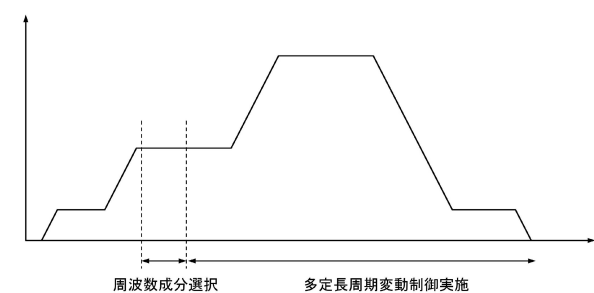
【図 2】

図 2

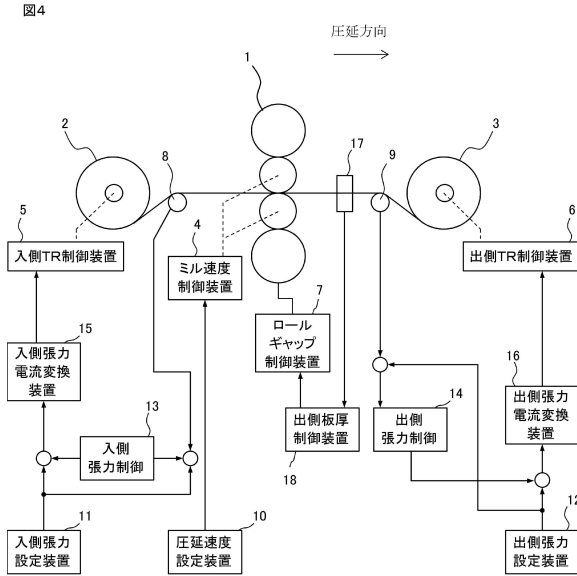


【図 3】

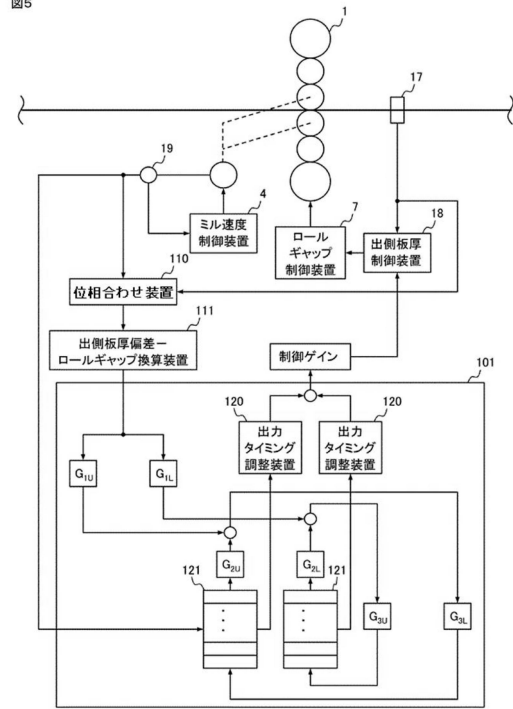
図 3



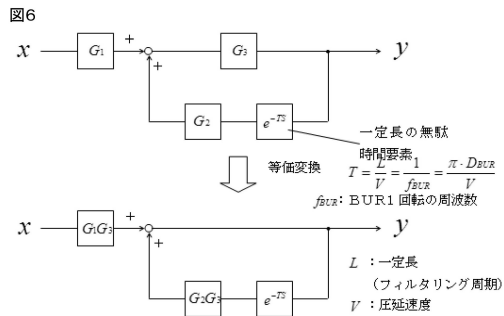
【図 4】



【図 5】



【図 6】



$$y = G_2 G_3 \cdot e^{-Ts} \cdot y + G_1 G_2 \cdot x$$

$$y = \frac{G_1 G_2}{1 - G_2 G_3 e^{-Ts}} x = \frac{G_1 G_2}{1 - G_2 G_3 \cos(\omega T) + j \cdot G_2 G_3 \sin(\omega T)} x$$

$$\text{ゲイン} = \frac{(G_1 G_2)^2}{(1 - G_2 G_3 \cos(\omega T))^2 + (G_2 G_3 \sin(\omega T))^2}$$

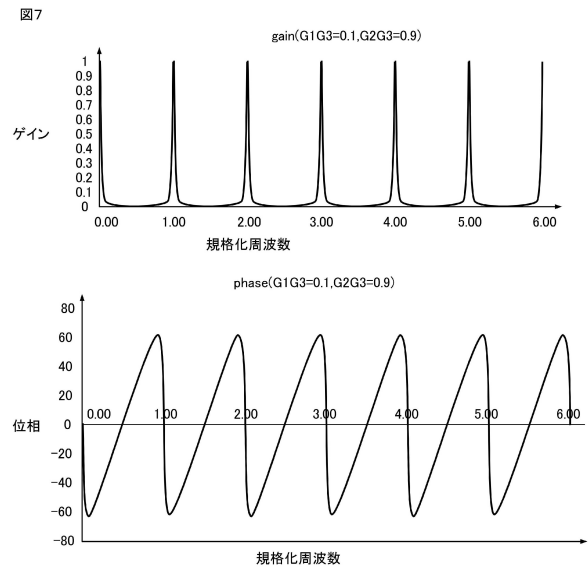
$$= \frac{(G_1 G_2)^2}{1 + (G_2 G_3)^2 - 2 \cdot G_2 G_3 \cos(\omega T)}$$

$\cos(\omega T) = 1$ の時、gain 最大となる。最大 gain=1.0 にするには、
 $1 - G_2 G_3 = G_1 G_2$ とすればよい。

ϕ : 位相

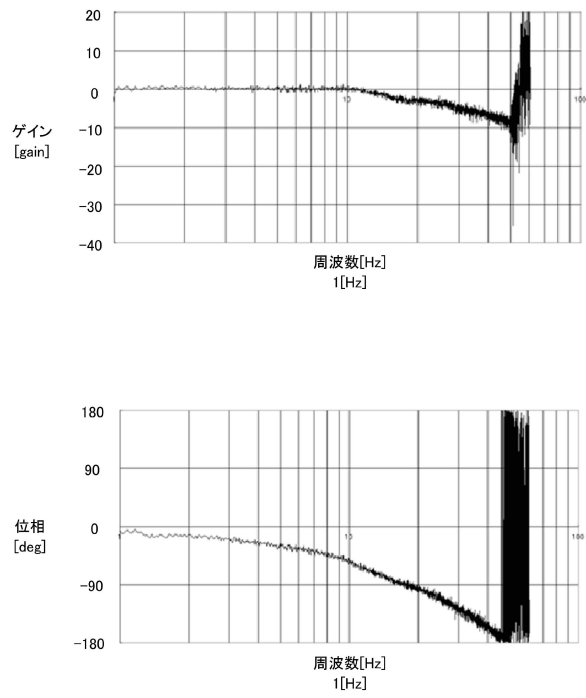
$$\tan(\phi) = \frac{-G_2 G_3 \sin(\omega T)}{1 - G_2 G_3 \cos(\omega T)}$$

【図 7】



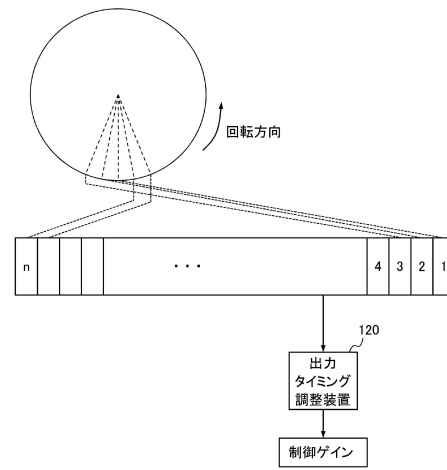
【図 8】

図8



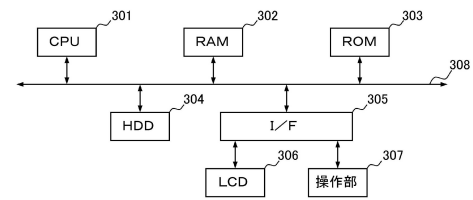
【図 9】

図9



【図 10】

図10



フロントページの続き

審査官 坂本 薫昭

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B 2 1 B 3 7 / 6 6