

(19)日本国特許庁(JP)

**(12)特許公報(B2)**

(11)特許番号  
**特許第7533503号**  
**(P7533503)**

(45)発行日 令和6年8月14日(2024.8.14)

(24)登録日 令和6年8月5日(2024.8.5)

(51)国際特許分類

B 2 1 B	1/26 (2006.01)	F I	B 2 1 B	1/26	D
B 2 1 B	1/42 (2006.01)		B 2 1 B	1/42	
B 2 1 B	27/02 (2006.01)		B 2 1 B	27/02	A

請求項の数 6 (全14頁)

(21)出願番号	特願2022-26378(P2022-26378)
(22)出願日	令和4年2月24日(2022.2.24)
(65)公開番号	特開2023-122720(P2023-122720)
	A)
(43)公開日	令和5年9月5日(2023.9.5)
審査請求日	令和5年9月26日(2023.9.26)

(73)特許権者	000001258
	J F E スチール株式会社
	東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(74)代理人	110002147
	弁理士法人酒井国際特許事務所
(72)発明者	山口 慎也
	東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
	J F E スチール株式会社内
(72)発明者	植野 雅康
	東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
	J F E スチール株式会社内
審査官	隅川 佳星

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ワークロールの速度設定方法、圧延方法、圧延鋼板の製造方法、及び、圧延設備

**(57)【特許請求の範囲】****【請求項1】**

圧延材を挟んで対向する一対の主軸のそれぞれの周りに配置された2本以上のワークロールが、前記主軸を中心に公転しながら自転して前記圧延材を圧延するプラネタリミルにおける、前記ワークロールの公転速度と前記ワークロールの自転速度とから決定される圧延速度を、前記プラネタリミルの出側での圧延材速度の最大値よりも大きくなるように設定することを特徴とするワークロールの速度設定方法。

**【請求項2】**

前記プラネタリミルの出側での圧延材速度は、実測値または計算値によって求めることを特徴とする請求項1に記載のワークロールの速度設定方法。

**【請求項3】**

前記ワークロールと前記圧延材との接触中の前記プラネタリミルの出側での圧延材速度を $v_1$ とし、前記圧延材の入側板厚を $h_0$ とし、前記圧延材の出側板厚を $h_1$ とし、ワークロール接触時間／公転周期を $a$ とし、平均板速度を $v_{1m}$ としたとき、前記圧延材速度 $v_1$ を、 $v_1 = \{ h_0 - (1 - a) \times h_1 \} / a h_0 \times v_{1m}$ の数式を用いて算出することを特徴とする請求項1または2に記載のワークロールの速度設定方法。

**【請求項4】**

請求項1乃至3のいずれか1項に記載のワークロールの速度設定方法を用いて設定した圧延速度で前記プラネタリミルにより前記圧延材を圧延することを特徴とする圧延方法。

**【請求項5】**

請求項 4 に記載の圧延方法を用いて圧延鋼板を製造することを特徴とする圧延鋼板の製造方法。

#### 【請求項 6】

圧延材を挟んで対向して配置される一対の主軸のそれぞれの周りに配置された 2 本以上のワークロールによって前記圧延材を圧延するプラネタリミルと、

前記プラネタリミルよりも前記圧延材の移動方向で上流側に配置された、前記圧延材を搬送するためのフィードロールと、

を備え、

圧延後の圧延材速度の最大値よりも、前記ワークロールの公転速度と前記ワークロールの自転速度とから決定される圧延速度が高速であることを特徴とする圧延設備。

10

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、ワークロールの速度設定方法、圧延方法、圧延鋼板の製造方法、及び、圧延設備に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

従来、鋼板の熱間圧延において、圧延ラインの設備簡略化、圧延機導入スタンド数の削減や加工材質制御を目的として、圧下率おおよそ 60 [ % ] を超える大圧下を実現可能な圧延機が種々開発されている。例えば、特許文献 1 や特許文献 2 に記載のロールキャスト式のプラネタリミルは、主軸の周りに配置された 4 本～8 本のワークロールが高速で公転しながら、それぞれ独立に自転し、バックアップロールなしで、ワークロールの遠心力により、圧延材を低速にて鍛造圧延する圧延機であり、特許文献 3 などに記載されているよう、他のプラネタリミルよりも、機構が単純なため設備保守が容易であるという特徴を有する。一方、圧延材は、プラネタリミルのワークロールによって圧延方向とは反対側に力を受けるため、プラネタリミル単体では圧延材を引き込むことができず、プラネタリミルの入側に配置された、圧延材を挟んで対向する一対のフィードロールによって、圧延材をプラネタリミルに向けて押し込みながら圧延を行っている。

20

##### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

30

##### 【0003】

【文献】特開昭 59 - 85305 号公報

【文献】特開昭 51 - 14755 号公報

【文献】特開昭 62 - 176603 号公報

##### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0004】

しかしながら、フィードロールによって圧延材をプラネタリミルに向けて押し込む押し込み力に対して、一対のフィードロールによって圧延材を挟むように押圧する押圧力が不十分であると、圧延材とフィードロールとの間でスリップが生じ、安定的な圧延を実現することができないおそれがある。

40

##### 【0005】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、その目的は、安定的な圧延を行うことができるワークロールの速度設定方法、圧延方法、圧延鋼板の製造方法、及び、圧延設備を提供することである。

##### 【課題を解決するための手段】

##### 【0006】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係るワークロールの速度設定方法は、圧延材を挟んで対向する一対の主軸のそれぞれの周りに配置された 2 本以上のワークロールが、前記主軸を中心に公転しながら自転して前記圧延材を圧延するプラネタリ

50

ミルにおける、前記ワーカロールの公転速度と前記ワーカロールの自転速度とから決定される圧延速度を、前記プラネタリミルの出側での圧延材速度の最大値よりも大きくなるように設定することを特徴とするものである。

#### 【0007】

また、本発明に係るワーカロールの速度設定方法は、上記の発明において、前記プラネタリミルの出側での圧延材速度は、実測値または計算値によって求めることを特徴とするものである。

#### 【0008】

また、本発明に係るワーカロールの速度設定方法は、上記の発明において、前記ワーカロールと前記圧延材との接触中の前記プラネタリミルの出側での圧延材速度を  $v_1$  とし、前記圧延材の入側板厚を  $h_0$  とし、前記圧延材の出側板厚を  $h_1$  とし、ワーカロール接触時間 / 公転周期を  $a$  とし、平均板速度を  $v_{1m}$  としたとき、前記圧延材速度  $v_1$  を、 $v_1 = \{ h_0 - (1 - a) \times h_1 \} / a h_0 \times v_{1m}$  の数式を用いて算出することを特徴とするものである。10

#### 【0009】

また、本発明に係る圧延方法は、上記の発明のワーカロールの速度設定方法を用いて設定した圧延速度で前記プラネタリミルにより前記圧延材を圧延することを特徴とするものである。

#### 【0010】

また、本発明に係る圧延鋼板の製造方法は、上記の発明の圧延方法を用いて圧延鋼板を製造することを特徴とするものである。20

#### 【0011】

また、本発明に係る圧延設備は、圧延材を挟んで対向して配置される一対の主軸のそれぞれの周りに配置された2本以上のワーカロールによって前記圧延材を圧延するプラネタリミルと、前記プラネタリミルよりも前記圧延材の移動方向で上流側に配置された、前記圧延材を搬送するためのフィードロールと、を備え、圧延後の圧延材速度の最大値よりも、前記ワーカロールの公転速度と前記ワーカロールの自転速度とから決定される圧延速度が高速であることを特徴とするものである。

#### 【発明の効果】

#### 【0012】

本発明に係るワーカロールの速度設定方法、圧延方法、圧延鋼板の製造方法、及び、圧延設備は、安定的な圧延を行うことができるという効果を奏する。30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0013】

【図1】図1は、実施形態に係るプラネタリミルを備えた圧延設備の概略図である。

【図2】図2は、プラネタリミルにおいてワーカロールが無駆動回転の場合の力の作用図である。

【図3】図3は、プラネタリミルにおいてワーカロールが圧延材の出側板速度に比べて小さい圧延速度で駆動回転する場合の力の作用図である。

【図4】図4は、プラネタリミルにおいてワーカロールが圧延材の出側板速度に比べて大きい圧延速度で駆動回転する場合の力の作用図である。40

【図5】図5は、プラネタリミルにおける圧延時の速度変化を説明する概略図である。

【図6】図6は、本実施形態の圧延材速度の取得方法について説明するための図である。

【図7】図7は、本発明の実施例における速度変動の概略図である。

【図8】図8は、本発明の実施例におけるスリップ発生有無の調査結果を示す図である。

【図9】図9は、本発明の実施例におけるスリップ発生有無の調査結果を示す図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0014】

以下に、本発明に係るワーカロールの速度設定方法、鋼板の製造方法、及び、圧延設備の実施形態について説明する。なお、本実施形態により本発明が限定されるものではない50

。また、本実施形態では、熱延鋼板を製造する熱間圧延設備を例に挙げて説明する。なお、本発明は、熱間圧延ラインの粗圧延設備や厚鋼板を製造する厚板圧延設備、冷延鋼板を製造する冷間圧延設備、また、薄スラブ連続鋳造機と直結した熱延ラインについても適用可能であり、厚鋼板と薄鋼板の違い、鋳造との設備接続レイアウト、熱間と冷間の違いには限定されない。

#### 【0015】

図1は、実施形態に係るプラネタリミル10を備えた圧延設備の概略図である。実施形態に係るプラネタリミル10は、圧延材3を挟んで対向する一対の主軸である公転軸2A, 2Bと、公転軸2A, 2Bのそれぞれの外周に配置された複数のワークロール1A, 1Bと、を備えている。ワークロール1A, 1Bは、モータ駆動によって自転可能に設けられている。プラネタリミル10は、複数のワークロール1A, 1Bからなるワークロール群を公転軸2A, 2Bを中心に公転させながら、各ワークロール1A, 1Bを自転させて、ワークロール1Aとワークロール1Bとによって圧延材3を挟み込んで圧延を行う。

10

#### 【0016】

ワークロール1A, 1Bの公転方向は、図1に矢印で示すように、圧延材3を圧延方向の送り出す回転方向である。また、ワークロール1A, 1Bの自転方向は、図1に矢印で示すように、公転方向とは逆方向の回転方向であって圧延材3の変形部分の表面上を転がるように回転する。なお、本実施形態では、ワークロール1A, 1Bの公転方向及び自転方向それについて、上記した回転方向（すなわち、それぞれのロール・板において図1中の矢印の方法）を回転速度の正と定義する。また、以下の説明において、圧延材3に対して上側に配置された公転軸2Bの周りに配置された上側のワークロール群のワークロール1Aと、圧延材3に対して下側に配置された公転軸2Bの周りに配置された下側のワークロール群のワークロール1Bとを、特に区別しない場合には、単にワークロール1とも記す。

20

#### 【0017】

なお、実施形態に係るプラネタリミル10は、ワークロール1をモータ駆動による駆動回転で自転させながら圧延を行う圧延機であるロールキャスト式のプラネタリミルであつて、ワークロール1をモータ駆動せず無駆動回転で自転させるプラネタリミルとは区別する。また、以下の説明において、プラネタリミル10のことを単に圧延機とも記し、圧延機入側とは圧延機であるプラネタリミル10よりも圧延材3の移動方向で上流側を指し、圧延機出側とは圧延機であるプラネタリミル10よりも圧延材3の移動方向で下流側を指す。

30

#### 【0018】

また、実施形態に係るプラネタリミル10において、公転軸周りにワークロール1A, 1Bをそれぞれ2本～8本配置することが可能であり、上側の公転軸2Aの周りに配置するワークロール1Aと、下側の公転軸2Bの周りに配置するワークロール1Bとの両方合わせると4本～16本となる。図1では、公転軸周りにワークロール1A, 1Bをそれぞれ4本配置した場合を示している。圧延材3の表面に対する正味の圧延速度として、ワークロール1の圧延速度を、ワークロール1の公転速度 - ワークロール1の自転速度、と定義する。ワークロール1の圧延速度は、ワークロール1の公転包絡径上での速度である。ワークロール1の圧延速度の正負の定義は、ワークロール1の公転速度のそれと同じである。圧延速度は、圧延材3の出側板速度と同じ方向である必要があるため、正の値となるよう設定される。

40

#### 【0019】

プラネタリミル10よりも圧延材3の移動方向で上流側には、圧延材3を挟んで対向する一対のフィードロール4A, 4Bが配置されている。フィードロール4A, 4Bは、圧延材3を上下方向（圧延材3の厚み方向）の圧下力によって拘束しつつ、圧延材3をプラネタリミル10に向けて押し込んで搬送する。なお、以下の説明において、圧延材3に対して上側に配置されたフィードロール4Aと、圧延材3に対して下側に配置されたフィードロール4Bとを、特に区別しない場合には、単にフィードロール4とも記す。

50

### 【0020】

プラネタリミル10よりも圧延材3の移動方向で下流側には、圧延材3を挟んで対向する一対のメジャーリングロール5A, 5Bが配置されている。メジャーリングロール5A, 5Bは、ローラエンコーダを有している。そして、メジャーリングロール5A, 5Bは、それぞれ圧延材3の上面及び下面に接触し、圧延材3の表面移動に連れ回ることによって、プラネタリミル10による圧延材3の圧延後の圧延材速度を測定する。なお、以下の説明において、圧延材3に対して上側に配置されたメジャーリングロール5Aと、圧延材3に対して下側に配置されたメジャーリングロール5Bとを、特に区別しない場合には、単にメジャーリングロール5とも記す。なお、図1ではメジャーリングロール5を用いているが、圧延材速度を測定する手法は、これに限るものではない。

10

### 【0021】

次に、プラネタリミル10での圧延に必要な入側押し込み力について説明する。図2は、プラネタリミル10においてワークロール1が無駆動回転の場合の力の作用図である。図3は、プラネタリミル10においてワークロール1が圧延材3の出側板速度に比べて小さい圧延速度で駆動回転する場合の力の作用図である。図4は、プラネタリミル10においてワークロール1が圧延材3の出側板速度に比べて大きい圧延速度で駆動回転する場合の力の作用図である。

### 【0022】

なお、図2～図4は、圧延材3に対して上側の圧延設備（ワークロール1A、公転軸2A、フィードロール4A、及び、メジャーリングロール5A）を示しており、圧延材3に対して下側の圧延設備（ワークロール1B、公転軸2B、フィードロール4B、及び、メジャーリングロール5B）の図示は省略している。また、図2～図4中の「p」は、圧延材3からワークロール1Aの中心に向かって作用する圧延荷重である。また、図2中の「 $\theta$ 」は、圧延荷重が作用する方向と鉛直方向とでなす角度である。また、図2～図4を用いて、圧延材3に対して上側の圧延設備（ワークロール1A、公転軸2A、フィードロール4A、及び、メジャーリングロール5A）を例示して説明するが、圧延材3に対して下側の圧延設備（ワークロール1B、公転軸2B、フィードロール4B、及び、メジャーリングロール5B）についても同様の説明が成り立ち、その説明は適宜省略する。

20

### 【0023】

図2に示すように、ワークロール1Aが無駆動回転で自転する場合には、圧延材3はワークロール1Aから鉛直下方向に  $p \cos \theta$  の圧下力を受け、且つ、ワークロール1Aが圧延材3を引き込む力が生じない。そのため、圧延機入側からフィードロール4Aによって圧延材3をプラネタリミル10に向けて押し込みながら圧延する必要がある。なお、本実施形態においては、フィードロール4Aによって圧延材3をプラネタリミル10に向けて押し込む力を入側押し込み力と定義する。

30

### 【0024】

一方、図3及び図4に示すように、ワークロール1Aが駆動回転で自転する場合には、ワークロール1Aの圧延速度と圧延材3の出側板速度との速度差に応じて、ワークロール1Aと圧延材3の表面とがすべり状態になる。そのため、そのすべり方向に応じた摩擦力  $\mu p \cos \theta$  が発生し、必要な入側押し込み力は、ワークロール1Aが無駆動回転で自転する場合とは異なる。なお、ここでは、ワークロール1と圧延材3との間のすべり摩擦係数を  $\mu$  としている。

40

### 【0025】

図3に示すように、ワークロール1Aの圧延速度が圧延材3の出側板速度に比べて小さい場合、すなわち、ワークロール1Aの公転速度が小さい場合や、ワークロール1Aの自転速度が大きい場合には、ワークロール1と圧延材3とのすべり方向が圧延材3をプラネタリミル10から押し戻す方向となる。そのため、必要な入側押し込み力は、ワークロール1Aを無駆動回転で自転させる場合に比べて増加する。

### 【0026】

逆に、図4に示すように、ワークロール1Aの圧延速度が圧延材3の出側板速度に比べ

50

て大きい場合、すなわち、ワーカロール 1 A の公転速度が小さい場合や、ワーカロール 1 A の自転速度が小さい場合には、ワーカロール 1 A と圧延材 3とのすべり方向が圧延材 3 をプラネタリミル 1 0 に引き込む方向となる。そのため、必要な入側押し込み力は、ワーカロール 1 A を無駆動回転で自転させる場合に比べて軽減する。

#### 【0027】

上記のように、ワーカロール 1 の圧延速度の設定次第では、必要な入側押し込み力が想定以上に大きくなり、圧延機入側でのフィードロール 4 A , 4 B による圧延材 3 の拘束力（フィードロール 4 A , 4 B による上下方向の圧下力）が不十分であると、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップが生じ、表面疵の発生原因となる。フィードロール 4 の圧下力を増加させてフィードロール 4 による圧延材 3 の拘束力を高めようとしても、圧下力の設備上限やフィードロール 4 にかかる熱負荷の問題があるだけでなく、圧延材 3 が高温であり変形抵抗が小さいため必要な拘束力を得ることができない場合がある。そのため、このような理由により、フィードロール 4 A , 4 B による上下方向の圧下力は、単位板幅あたり  $0.05 [ \text{tonf/mm} ] \sim 0.2 [ \text{tonf/mm} ]$  程度が好適である。

10

#### 【0028】

図 5 は、プラネタリミル 1 0 における圧延時の速度変化を説明する概略図である。プラネタリミル 1 0 では、ワーカロール 1 と圧延材 3 との接触が間欠的な断続加工である。そのため、図 5 に示すように、圧延材速度は、ワーカロール 1 と圧延材 3 との接触位置に応じて周期的に変動する。このため、ワーカロール 1 の圧延速度の設定次第では、ワーカロール 1 と圧延材 3 の表面とのすべり方向が安定せず、それがワーカロール 1 の圧延速度の適正な設定を困難にしている。

20

#### 【0029】

本願発明者らは、詳細な調査を実施し、ロールキャスト式のプラネタリミル 1 0 において、ワーカロール 1 の圧延速度が圧延材 3 の出側板速度よりも常に大きくなるように設定することで、入側押し込み反力を安定的に軽減することができることを見出した。

#### 【0030】

ロールキャスト式のプラネタリミル 1 0 において、入側押し込み反力を軽減し、且つ、安定とするには、ワーカロール 1 と圧延材 3 の表面とのすべり方向を常に一定とする必要がある。ワーカロール 1 と圧延材 3 とが接触している間の圧延材 3 の出側板速度は、ワーカロール 1 が下死点に位置するときに最大となり、その速度は圧延機出側での圧延材速度（圧延材 3 の出側板速度）と同じである。そのため、ワーカロール 1 と圧延材 3 の表面とのすべり方向を常に一定とするには、圧延機出側での圧延材速度をワーカロール 1 の圧延速度が上回ればよい。

30

#### 【0031】

次に、本実施形態における圧延材速度の取得方法について説明する。図 6 は、本実施形態の圧延材速度の取得方法について説明するための図である。

#### 【0032】

図 6 に示すように、プラネタリミル 1 0 による圧延後の圧延材速度は、圧延機出側にて、メジャーリングロール 5 A , 5 B を用いて測定することができる。圧延材速度の測定サンプリング周期は、ワーカロール 1 と圧延材 3 との接触中の速度変動を捉えるため、ワーカロール 1 と圧延材 3 との接触時間のおよそ 5 分の 1 度程度で測定する。そして、ワーカロール 1 と圧延材 3 との接触 1 回あたりに相当する時間の圧延速度を少なくとも 1 周期以上測定し、その間の最大値を圧延材速度の最大値と定義する。なお、圧延材速度の取得方法としては、特に限定されるものではなく、例えば、レーザードップラー計を用いて圧延材速度を取得する周知の方法なども採用することができる。

40

#### 【0033】

ワーカロール 1 と圧延材 3 との接触時間は、圧延荷重が生じる時間と等価なので、圧延荷重を測定するロードセルの出力から確認することができる。例えば、直径  $400 [ \text{mm} ]$  のワーカロール 1 A , 1 B を上下 4 本ずつ、公転径  $1500 [ \text{mm} ]$  であるロールキャスト式のプラネタリミル 1 0 にて、公転速度  $50 [ \text{rpm} ]$  で板厚  $100 [ \text{mm} ]$  の圧延

50

材3を圧延する場合は、ワークロール1と圧延材3との接触時間が約0.06[s]となる。この間の圧延材速度は、約0.01[s]毎の速度測定にて、圧延材速度の最大値を捉えるに十分である。

#### 【0034】

ワークロール1の圧延速度は、ワークロール1の公転速度から自転速度を減じたものであるため、公転速度と自転速度との両者を決定する必要がある。まず、公転速度は、ワークロール1と圧延材3との接触1回あたりの圧延材3の変形量に反比例するため、高速であるほど圧延荷重及び圧延トルクなどの圧延負荷が小さい。そのため、公転駆動モータの主機容量と速度応答性とに応じて決定される。ただし、ワークロール1の公転速度を一意に決定する必要はなく、圧延中に変更してもよい。

10

#### 【0035】

ワークロール1の自転速度は、圧延後(圧延機出側)の圧延材速度よりも高速であり、ワークロール1の圧延速度が圧延材速度の最大値よりも大きくなるように決定することでき、ワークロール1と圧延材3の表面とのすべり方向を常に一定とし、入側押しこみ力の反力を安定的に軽減することができる。なお、圧延材速度は、ワークロール1との1回接触当たりの圧延材3の変形量に応じて決まり、ワークロール1の自転速度を変更しても変わらない。そのため、圧延材速度の最大値は、ワークロール1と圧延材3との接觸回数毎に取得することができるが、接觸毎にワークロール1の自転速度を変更する必要はなく、圧延機入側での圧延材速度に変化がある場合に、ワークロール1の自転速度を変更すればよい。

20

#### 【0036】

また、ワークロール1の圧延速度の上限値、つまりワークロール1の自転速度の下限値は、圧延材3の表面疵の発生に応じて決定する。ワークロール1と圧延材3の表面との滑り速度が大きいと表面疵などの表面欠陥が生じることが知られており、表面欠陥(表面疵)の過去の発生履歴をもとにして、ワークロール1の圧延速度の上限値を設定すればよい。例えば、一般炭素鋼の熱間圧延の場合には、およそ80[mpm]がワークロール1の圧延速度の上限値である。

30

#### 【0037】

圧延開始時のワークロール1の自転速度は、例えば、過去の圧延実績と同様に設定してもよいし、圧延機入側での圧延材速度と等価であるフィードロール4A, 4Bの回転速度と等しく設定してもよい。もしくは、下記のように圧延材速度の予測計算値に応じて、圧延材速度を測定することなく、予め設定することも可能である。

#### 【0038】

ワークロール群における同一のワークロール1の公転周期をtとしたとき、単位板幅あたりの圧延機入側のマスフローV<sub>0</sub>は、入側圧延材速度をv<sub>0</sub>とし、入側板厚をh<sub>0</sub>としたとき、下記式(1)で表される。

#### 【0039】

#### 【数1】

$$\Delta V_0 = v_0 \times h_0 \times \Delta t \quad \cdots (1)$$

40

#### 【0040】

一方、圧延機出側のマスフローV<sub>1</sub>は、ワークロール接触時間/回転周期をa、ワークロール1と圧延材3との接觸中の圧延機出側での圧延材速度をv<sub>1</sub>とすると、下記式(2)のようになる。

#### 【0041】

#### 【数2】

$$\Delta V_1 = \{v_1 \times a + v_0 \times (1 - a)\} \times h_1 \times \Delta t \quad \cdots (2)$$

50

**【 0 0 4 2 】**

ここで、圧延による板幅広がりを無視すると、圧延機入側のマスフロー  $v_0$  と圧延機出側のマスフロー  $v_1$  とは等しいため、下記数式(3)のようになる。

**【 0 0 4 3 】****【数3】**

$$v_1 = \{h_0 - (1 - a) \times h_1\} \times v_0 / ah_1 \quad \cdots (3)$$

**【 0 0 4 4 】**

ここで、ワーカロール接触時間 / 回転周期  $a$  は、ワーカロール公転包絡半径を  $R$  とし、ワーカロール本数を  $N$  としたとき、下記数式(4)のようになるため、ワーカロール1と圧延材3との接触中の圧延機出側での圧延材速度  $v_1$  が簡易的に求まる。

10

**【 0 0 4 5 】****【数4】**

$$a = \text{acos}\{1 - (h_0 - h_1)/2R\} \times N/360 \quad \cdots (4)$$

**【 0 0 4 6 】**

なお、圧延機出側での圧延材速度の平均を  $v_{1m}$  ( $= v_0 \times h_0 / h_1$ ) とすると、下記数式(5)のようになる。

20

**【 0 0 4 7 】****【数5】**

$$v_1 = \{h_0 - (1 - a) \times h_1\}/ah_0 \times v_{1m} \quad \cdots (5)$$

**【 0 0 4 8 】**

例えば、ワーカロール公転包絡半径  $R = 2000$  [mm]、ワーカロール本数  $N = 4$ 、入側板厚  $h_0 = 150$  [mm]、出側板厚  $h_1 = 95$  [mm] とすると、下記数式(6)のようになり、ワーカロール接触中における圧延速度の平均速度に対する変動を予測することが可能である。

30

**【 0 0 4 9 】****【数6】**

$$v_1 = 3.1v_{1m} \quad \cdots (6)$$

**【 0 0 5 0 】**

以上から、圧延機出側での圧延材速度  $v_1$  を上回るように、ワーカロール1の圧延速度を決定することができる。また、上記数式(1)～数式(6)の計算式による圧延材速度の予測計算以外にも、過去の他条件での圧延実績から、例えば機械学習や重回帰式による圧延材速度の予測値を用いてもよい。

40

**【 0 0 5 1 】**

なお、圧延機入側でのフィードロール4のスリップを回避するには、フィードロール4の圧下力を増加させることも効果的であるが、圧下系の設備上限に制約がある場合も多く、また、圧延材3が高温で変形抵抗が小さい場合にはフィードロール4の圧下力により減肉が生じ、プラネタリミル10での板厚変動の要因にもなる場合もある。

**【 0 0 5 2 】**

以上のように、圧延機出側での圧延材速度をワーカロール1の圧延速度が上回るように、ワーカロール1の自転速度を設定することによって、ワーカロール1と圧延材3の表面とのすべり方向を常に一定として、入側押し込み力の反力を安定的に軽減することができる。その結果、圧延方法として、実施形態に係るワーカロール1の速度設定方法を用いて

50

設定した圧延速度でプラネタリミル 10 により圧延材 3 を圧延する圧延方法を採用することにより、圧延機入側でのフィードロール 4 のスリップを回避して、安定的な圧延が可能となる。また、前記圧延方法を用いて、熱延鋼板や厚鋼板や冷延鋼板などの圧延鋼板を製造することにより、圧延鋼板に表面疵などの表面欠陥が生じるのを抑制して安定的な圧延鋼板の製造を効率よく行うことができる。

#### 【実施例】

##### 【0053】

以下に本発明の実施例を示す。ここでは、本発明を熱延鋼板の熱間圧延ラインに適用した実施例について説明する。

##### 【0054】

本実施例の圧延設備は、図 1 に示した圧延設備と同様の構成であり、ロール直径 500 [mm]、公転包絡径 2000 [mm] のワークロール 1 を上下 4 本ずつ有するロールキヤスト式のプラネタリミル 10 にて、板厚 200 [mm] の一般低炭素鋼からなる圧延材 3 を圧延する。圧延機上流側には、圧延材 3 を圧延機に送り込むフィードロール 4A, 4B が配置されている。圧延機下流側には、圧延材速度を測定するメジャーリングロール 5A, 5B が配置されている。フィードロール 4 の速度設定は 5 [mpm] であり、また、圧延機出側の板厚が 50 [mm] となるように上下のワークロールギャップを調整した。また、ワークロール 1 の公転速度は、ワークロール公転包絡径上で 628 [mpm] と設定した。図 7 に示すように、圧延機出側での圧延材速度は、5 [mpm] ~ 70 [mpm] の間で周期的な変動をしており、この場合、圧延材速度の最大値は 70 [mpm] となる。

10

##### 【0055】

図 8 に示すように、フィードロール 4 の圧下力とワークロール 1 の圧延速度を変更し、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップ発生有無を調査した。このとき、ワークロール 1 の公転速度は 628 [mpm] で固定であり、ワークロール 1 の自転速度のみを変更している。

##### 【0056】

ワークロール 1 の圧延速度が圧延材 3 の圧延速度よりも常に低い場合、つまり最低速度よりも低い場合は、フィードロール 4A とフィードロール 4B による圧延材 3 の拘束力が圧延機入側での必要な押し込み力よりも小さく、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップが発生した。また、圧延材 3 の圧延速度の変動の中間程度にワークロール 1 の圧延速度を設定した場合にも、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップが発生した。一方で、ワークロール 1 の圧延速度が圧延材 3 の最高速度よりも大きい場合には、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップは発生しなかった。さらに、フィードロール 4 の圧下力が極端に小さい場合には、ワークロール 1 の圧延速度によらず、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップが生じた。これらの結果は、ワークロール 1 の圧延速度が圧延材 3 の最高速度に比べて大きい場合、ワークロール 1 と圧延材 3 とのすべり方向が、常に圧延材 3 を引き込む方向となるため、圧延機入側での必要な押し込み力が安定して軽減することを意味している。なお、本実施例の条件では、ワークロール 1 の圧延速度が 120 [mpm] を超えると、圧延材 3 に表面疵が生じた。

30

##### 【0057】

以上のように、ワークロール 1 の圧延速度が圧延機出側での圧延材速度を上回るように、ワークロール 1 の自転速度を設定することによって、圧延材 3 の表面でのフィードロール 4 のスリップが生じることなく安定した圧延が可能となる。

##### 【0058】

また、上記と同じ熱間圧延ラインにて、上記数式(1) ~ 数式(6)の予測計算式を用いて求めた圧延機出側での圧延材速度に応じて、ワークロール 1 の自転速度を決定し圧延を行った。図 9 に、その際のスリップ発生有無を調査した結果を示す。なお、圧延材 3 は、板厚 220 [mm] の一般低炭素鋼であり、出側板厚が 60 [mm] となるよう上下ワークロールギャップを調整した。また、フィードロール 4 の回転速度は 5 [mpm] であ

40

50

り、ワーカロール1の公転速度は628 [mm]である。このとき、圧延機出側での圧延材速度 $v_1$ は、上記式(3)から算出することができる。

#### 【0059】

ここで、ワーカロール接触時間/回転周期aは、上記式(4)から算出することができるため、圧延機出側での圧延材速度 $v_1$ は57 [mm]となる。

#### 【0060】

また、ワーカロール1の公転速度を固定し、ワーカロール1の自転速度を変更して圧延を行い、圧延材3の表面でのフィードロール4のスリップの発生有無を調査したところ、ワーカロール1の圧延速度を圧延機出側での圧延材速度よりも大きく設定することによって、圧延材3の表面でのフィードロール4のスリップの発生が生じないことが分かった。

10

#### 【0061】

以上の結果のように、ワーカロール1の自転速度を設定することによって、熱間圧延の大圧下条件においても、圧延に必要な入側押し込み力を軽減し、圧延機入側でのフィードロール4A, 4Bのスリップを回避して、安定的な圧延を実現することができる。

#### 【符号の説明】

##### 【0062】

1, 1A, 1B ワーカロール

2A, 2B 公転軸

3 圧延材

4A, 4B フィードロール

5A, 5B メジャーリングロール

10 プラネタリミル

20

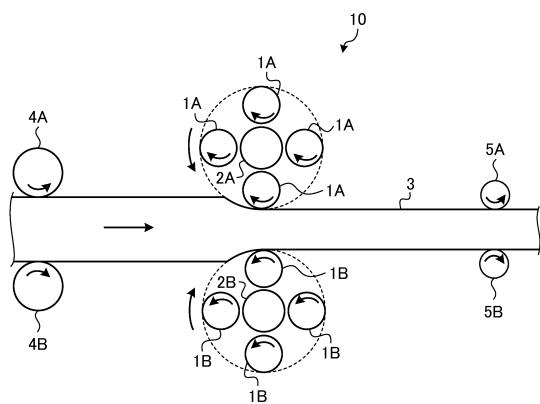
30

40

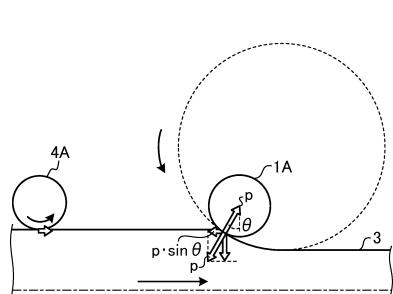
50

【図面】

【図 1】



【図 2】

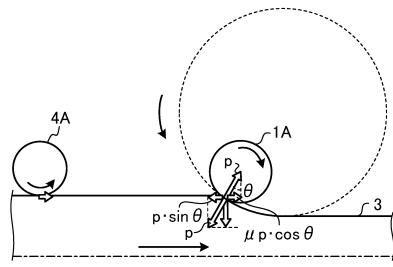
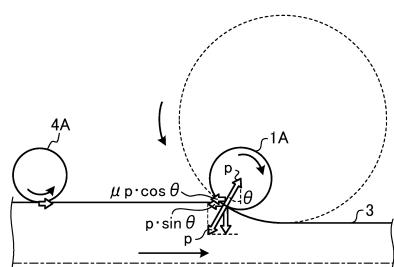


10

【図 3】

【図 4】

20

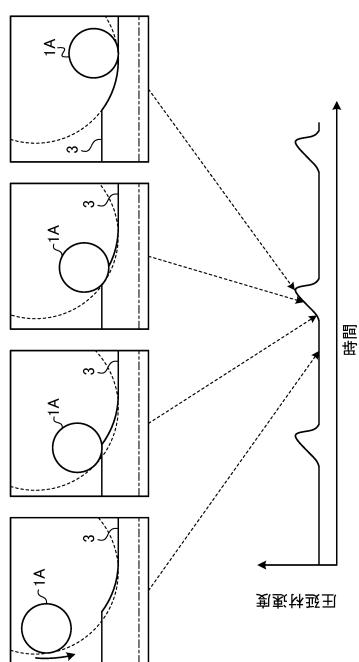


30

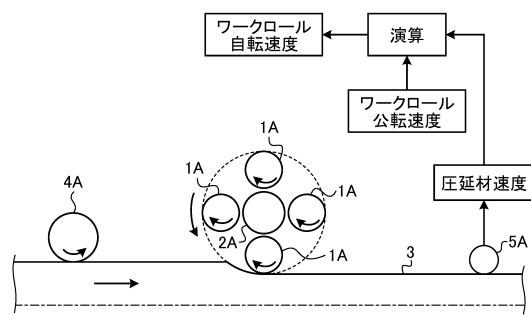
40

50

【図 5】



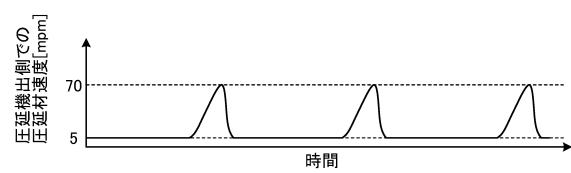
【図 6】



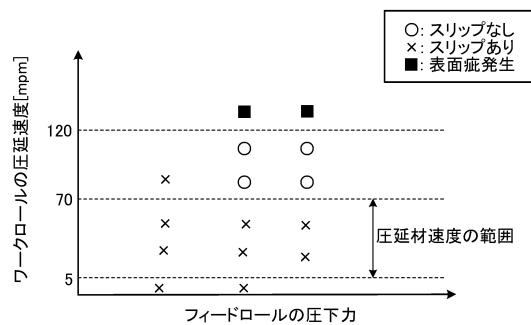
10

20

【図 7】



【図 8】

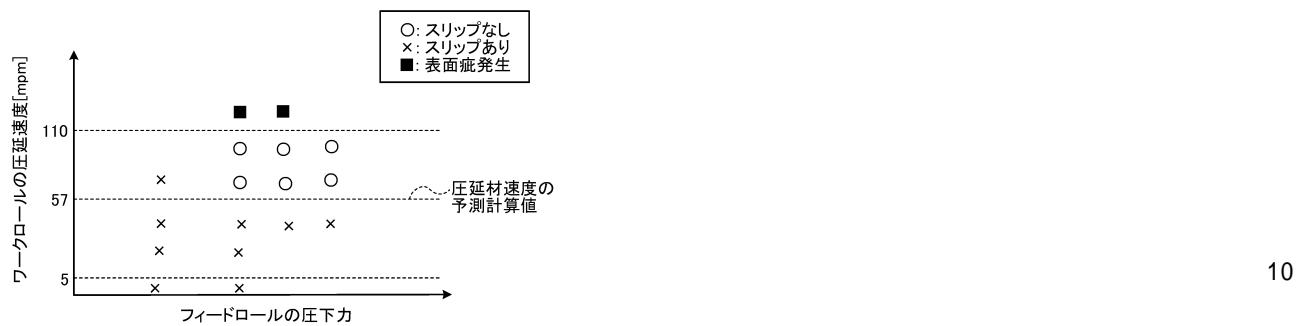


30

40

50

【図9】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

(56)参考文献      特公昭 50 - 022109 (JP, B1)  
                  特開昭 51 - 141755 (JP, A)  
                  特開昭 59 - 085305 (JP, A)  
                  特開昭 62 - 173009 (JP, A)  
                  特開昭 62 - 176603 (JP, A)  
                  特開平 06 - 218509 (JP, A)  
                  特開平 08 - 243608 (JP, A)  
                  特開 2007 - 252379 (JP, A)  
                  米国特許第 04266418 (US, A)  
                  中国実用新案第 203209427 (CN, U)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
                  B21B 1/00 - 99/00