

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2019年9月6日(06.09.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/167868 A1

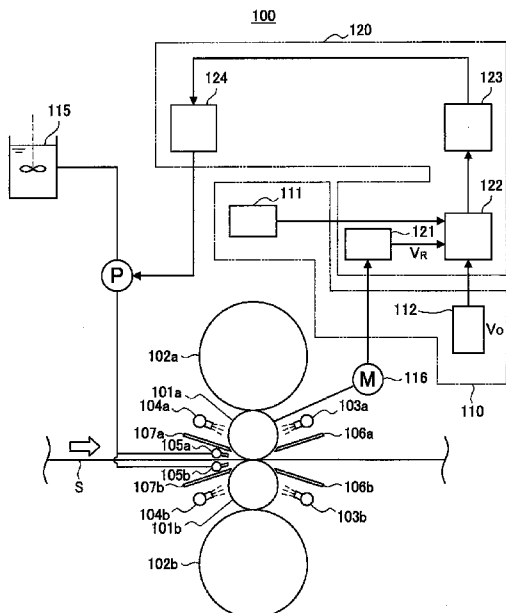
- (51) 国際特許分類:  
B21B 1/00 (2006.01) B22D 11/12 (2006.01)  
B22D 11/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/007014
- (22) 国際出願日: 2019年2月25日(25.02.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2018-037945 2018年3月2日(02.03.2018) JP
- (71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 白石 利幸 (SHIRAIISHI Toshiyuki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番

1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 新國大介 (NIKKUNI Daisuke); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 江藤 学 (ETO Manabu); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 宮寄 雅文 (MIYAZAKI Masafumi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

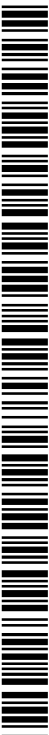
(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SLAB AND CONTINUOUS CASTING EQUIPMENT

(54) 発明の名称: 鋳片の製造方法及び連続鋳造設備



(57) Abstract: A method for manufacturing a slab by means of continuous casting equipment comprising a twin-drum continuous casting device, a cooling device, an inline mill, and a take-up device, wherein a rolling analysis model is used to calculate a friction coefficient from measured values for the rolling load and forward slip rate obtained during rolling of the slab, a lubrication condition during rolling of the slab is controlled such that the friction coefficient is within a prescribed range, and when Orowan's theory and a deformation resistance model formula based on Shida's approximation formula are used as the rolling analysis model to calculate the friction coefficient from the measured values for the rolling load and forward slip rate, the prescribed range is 0.15 to 0.25.

(57) 要約: この鋳片の製造方法は、双ドラム式連続鋳造装置と、冷却装置と、インラインミルと、巻取装置と、を備える連続鋳造設備によって鋳片を製造する方法であって、圧延解析モデルを用いて前記鋳片を圧延する時の圧延荷重及び先進率の実測値から摩擦係数を算出し、前記摩擦係数が所定の範囲内に入るように、前記鋳片の圧延時の潤滑条件を制御し、前記圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いて前記圧延荷重及び先進率の実測値から前記摩擦係数を算出した場合に、前記所定の範囲が0.15以上0.25以下である。



WO 2019/167868 A1

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,  
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,  
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,  
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

## 明 細 書

発明の名称： 鋳片の製造方法及び連続鋳造設備

### 技術分野

[0001] 本発明は、鋳片の製造方法及び連続鋳造設備に関する。

本願は、2018年3月2日に、日本に出願された特願2018-037945号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

### 背景技術

[0002] 双ドラム式連続鋳造装置では、水平方向に対向配置された一对の連続鋳造用冷却ドラム（以下、「冷却ドラム」という。）と一对のサイド堰とによって金属溶湯貯留部を形成し、この金属溶湯貯留部に貯留された金属溶湯を一对の冷却ドラムを回転させて薄肉の鋳片（以下、「鋳片」という。）を鋳造する（例えば、特許文献1）。金属溶湯貯留部に金属溶湯が貯留されると、冷却ドラムは互いに逆方向に回転され、金属溶湯を冷却ドラムの周面で凝固、成長させながら鋳片として下方へ送り出す。冷却ドラムから送り出された鋳片は、ピンチロールによって水平方向へ送り出され、下流のインラインミルによって所望の板厚に調整される。インラインミルによって板厚が調整された鋳片は、インラインミルの下流に設置された巻取装置によってコイル状に巻き取られる。

[0003] このような双ドラム式連続鋳造装置では、冷却ドラムは、一般的に、鋳造開始前は低温であり、鋳造を開始すると金属溶湯との接触により昇温する。また、冷却ドラムは、内面から冷却媒体（例えば、冷却水）によって所定の温度以上とならないように冷却されている。以下、冷却ドラムの温度が所定の温度に到達して一定となった期間を定常鋳造期間、定常鋳造期間の任意の時点を定常鋳造時、定常鋳造期間での冷却ドラムの温度を定常温度とする。また、定常鋳造期間の状態を定常状態という。

[0004] 冷却ドラムのプロフィールは、鋳造を開始してから定常状態となるまでに経過時間とともに変化する。このため、冷却ドラムのプロフィールは、定常鋳造

時における鋳片の板プロフィール（板クラウン）が所望の板プロフィールとなるように設定されている。

[0005] また、このような双ドラム式連続鋳造装置では、鋳造開始に当たってダミーシートが用いられている。このダミーシートの先端は、コイル巻取機にセットされ、ダミーシートの尾端は双ロールドラムで挟むようにセットされている。

[0006] 鋳片の先端となる溶融した金属は先ず冷えて固まり、前述のダミーシートの尾端と結合する。その後冷却ドラムが回転して、順次鋳造コイルに供給される。ダミーシートの結合部の板厚は、鋳片の板厚よりも遙かに厚いものとなる。この板厚が厚い部分をこぶ（hump）とも称する。こぶをピンチロールまたはインラインミルで強く押さえたり圧延したりすると蛇行または板破断を生じるため、この部分は上下のピンチロールの間隔およびインラインミルのワークロールの間隔（ロールギャップ）を大きく開いた状態で、こぶに圧縮力がかからない状態でピンチロールおよびインラインミルを通過させる。こぶがピンチロールを通過した後にピンチロールのフライングタッチを開始する。インラインミルのフライングタッチはインラインミルの形状制御能力にもよるが、こぶがインラインミルを通過した後、インラインミルの形状制御能力が不足する場合には定常状態になってからフライングタッチを開始し、インラインミルの出側板厚が目標値になるように圧延される。こぶがインラインミルを通過した後、インラインミルの形状制御能力が十分な場合には定常状態になる前の状態からフライングタッチを開始し、インラインミルの出側板厚が目標値になるように圧延される。

[0007] このような双ドラム式連続鋳造装置の冷却ドラム表面には、冷却効率または鋳造安定性の向上を目的として、例えば、特許文献2に記載されるように該冷却ドラムの表面に凹形状を形成するディンプル加工が施されている。溶融した金属はこのディンプルに入り込んで固まるため、冷却ドラム後の鋳片の表面には、ディンプルにより形成された突起（以下、単に「突起」と呼ぶ場合がある）が形成される。この突起の形状は、特許文献3に記載の様に、

鑄造の安定性を優先して決定され得る。

[0008] このような突起を有する鑄片をインラインミルで圧延すると、突起の折れ込みが発生する場合がある。一般的には、突起の高さと突起の幅との比（突起の高さ／突起の幅）の値が大きい程、また、インラインミルの圧下率が高い程、突起に折れ込みが生じやすい。ここで、図1を参照して、折れ込みが発生する突起d1と折れ込みが発生しない突起d10について説明する。図1は、鑄片に形成された突起の折れ込みを示す概念図である。図1では、突起の高さbと突起の幅aとの比が異なる2つの突起d1、d10を示している。突起d1の高さbと幅aとの比は、突起d10の高さbと幅aとの比より大きい。

[0009] 高さbと幅aとの比が大きい突起d1は、インラインミルで鑄片を圧延すると折れ込みやすい。突起d1が折れ込んだ折込部eには、鑄片の表面の酸化スケールc1が噛み込まれることもある。一方で、高さbと幅aとの比が小さい突起d10は、インラインミルで圧延しても折れ込みにくい。このため、突起d1のように鑄片に折込部eが発生することもなく、鑄片の表面の酸化スケールc1が噛み込まれることもない。

[0010] 鑄片表面の酸化スケールは、次工程の酸洗工程にて除去される。しかしながら、鑄片の折込部eに噛み込まれた酸化スケールc1は、通常の酸洗では十分に除去できない。このため、酸洗工程の後、鑄片をさらに薄い所定の板厚まで圧延する場合、鑄片の表面に酸化スケールが露出して鑄片の表面性状が悪化し、圧延後の鑄片に表面欠陥が顕在化する場合がある。

[0011] 鑄片の折込部eに噛み込んだ酸化スケールを除去するために、酸洗により突起の折込部eを溶解するためには、通常の数倍以上の酸洗時間が必要であり、酸化スケール厚と同等な深さの折れ込み部が生じたとすると、単純に考慮しても酸洗能力は1／2以下となる。そのため、生産性が著しく低下する。また、酸洗前のスケールが付着した鑄片では、突起の折れ込みにより酸化スケールを噛み込んでいるか否かの判断は困難であり、判断を行うには別途に鑄片を切り出して観察用サンプルを作成して断面観察を行う必要がある。そ

のため、酸洗工程においては、品質保証の観点から、確実に酸化スケールを除去するために鑄片を過溶解する等の手法が取られていた。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0012] 特許文献1：日本国特開2000-343103号公報

特許文献2：日本国特開平5-285601号公報

特許文献3：日本国特許4454868号公報

### 非特許文献

[0013] 非特許文献1：日本鉄鋼協会著 「板圧延の理論と実際」 日本鉄鋼協会出版、1984年、p. 22-23、p. 195、

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0014] しかしながら、鑄片の表面欠陥を防止するために過溶解を行うと、品質低下は防止できるものの、製造コストの増大や歩留まり低下を引き起こしていた。

[0015] そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところは、双ドラム式連続鑄造装置により形成された突起を有する鑄片をインラインミルで圧延する際に発生する突起の折れ込みを、生産性を損なうことなく防止することを可能とする鑄片の製造方法及び連続鑄造設備を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0016] (1) 本発明の第一の態様は、表面にディンプルが形成された一对の冷却ドラムと一对のサイド堰とによって金属溶湯貯留部を形成し、前記一对の冷却ドラムを回転させながら前記金属溶湯貯留部に貯留された金属溶湯から前記ディンプルにより形成された突起を有する鑄片を鑄造する双ドラム式連続鑄造装置と、前記双ドラム式連続鑄造装置の下流側に配置され、前記鑄片を冷却する冷却装置と、前記冷却装置の下流側に配置され、前記鑄片をワークロ

ールにて圧下率10%以上の1パス圧延を行うインラインミルと、前記インラインミルの下流側に配置され、前記鋳片をコイル状に巻取る巻取装置と、を備える連続鋳造設備によって鋳片を製造する方法であって、圧延解析モデルを用いて前記鋳片を圧延する時の圧延荷重及び先進率の実測値から摩擦係数を算出し、前記摩擦係数が所定の範囲内に入るように、前記鋳片の圧延時の潤滑条件を制御し、前記圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いて前記圧延荷重及び先進率の実測値から前記摩擦係数を算出した場合に、前記所定の範囲が0.15以上0.25以下である。

(2) 上記(1)に記載の鋳片の製造方法では、前記突起の高さが50 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であってもよい。

(3) 上記(1)又は(2)に記載の鋳片の製造方法では、前記潤滑条件は、前記ワークロールまたは鋳造された前記鋳片の少なくとも一方に供給される潤滑油の供給量であってもよい。

(4) 本発明の第二の態様は、表面にディンプルが形成された一对の冷却ドラムと一对のサイド堰とによって金属溶湯貯留部を形成し、前記一对の冷却ドラムを回転させながら前記金属溶湯貯留部に貯留された金属溶湯から前記ディンプルにより形成された突起を有する鋳片を鋳造する双ドラム式連続鋳造装置と、前記双ドラム式連続鋳造装置の下流側に配置され、前記鋳片を冷却する冷却装置と、前記冷却装置の下流側に配置され、前記鋳片をワークロールにて圧下率10%以上の1パス圧延を行うインラインミルと、前記インラインミルの下流側に配置され、前記鋳片をコイル状に巻取る巻取装置と、前記インラインミルにより圧延される前記鋳片の圧延荷重及び先進率を実測する測定装置と、圧延解析モデルを用いて、前記圧延荷重及び先進率の実測値から摩擦係数を算出し、前記摩擦係数が所定の範囲内に入るように、前記鋳片の圧延時の潤滑条件を制御する潤滑制御装置と、を備え、前記圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いて前記圧延荷重及び先進率の実測値から前記摩擦係数を算出した場合

に、前記所定の範囲が0.15以上0.25以下である連続鋳造設備である。

(5) 上記(4)に記載の連続鋳造設備では、前記突起の高さが50 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であってもよい。

(6) 上記(4)又は(5)に記載の連続鋳造設備では、前記潤滑制御装置は、前記摩擦係数を制御するために必要な潤滑油の供給量を計算するとともに、前記インラインミルに供給する潤滑油の供給制御を行う摩擦係数調節器を備えてもよい。

### 発明の効果

[0017] 以上説明した手段によれば、双ドラム式連続鋳造装置により形成された突起を有する鋳片をインラインミルで圧延する際に発生する突起の折れ込みを、生産性を損なうことなく防止することができる。

### 図面の簡単な説明

[0018] [図1]ディンプルにより形成された突起の折れ込みを示す概念図である。  
[図2]本発明の一実施形態に係る双ドラム式連続鋳造設備を示した図である。  
[図3]同実施形態に係る双ドラム式連続鋳造設備のインラインミルの詳細図である。  
[図4]ディンプルにより形成された突起の模式図である。  
[図5]摩擦係数と突起との関係を示した表である。  
[図6]潤滑条件の制御フローの一例を示したフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0019] 図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0020] <1. 概要>

本発明者は、双ドラム式連続鋳造設備により製造されディンプルにより形成された突起を有する鋳片をインラインミルで圧延する際に、突起の折れ込みを防止することを可能にする鋳片の製造方法を鋭意研究した。その結果、

鋳片をインラインミルで圧延する時に、圧延解析モデルを用いて、圧延荷重及び先進率の実測値から摩擦係数を算出し、摩擦係数が所定の範囲内に入るように、鋳片の圧延時の潤滑条件を制御する方法を想到した。摩擦係数が所定の範囲内に入るように、鋳片の潤滑条件を制御することにより、生産性を損なうことなく、鋳片の表面に形成された突起の折れ込みを防止できる。

[0021] <2. 製造工程>

まず、図2を参照して、本発明の実施形態に係る鋳片を製造する製造工程の概要を説明する。図2は、本実施形態に係る鋳片（薄肉鋳片）の製造工程の概略構成を示す説明図である。

[0022] 本実施形態に係る連続鋳造設備1は、図2に示すように、例えば、タンディッシュ（貯蔵装置）Tと、双ドラム式連続鋳造装置10と、酸化防止装置20と、冷却装置30と、第1のピンチロール装置40と、インラインミル100と、第2のピンチロール装置60と、巻取装置70、とを備えている。

[0023] （双ドラム式連続鋳造装置）

双ドラム式連続鋳造装置10は、図2に示すように、例えば、一对の冷却ドラム10a、10bと、一对の冷却ドラム10a、10bの軸方向両側に配置された一对のサイド堰（図示せず。）と、を備える。一对の冷却ドラム10a、10bとサイド堰とは、タンディッシュTから供給される溶融金属を貯留する金属溶湯貯留部15を構成している。双ドラム式連続鋳造装置10は、一对の冷却ドラム10a、10bを互いに逆方向に回転させながら、金属溶湯貯留部15に貯留された金属溶湯から鋳片を鋳造する。

[0024] 一对の冷却ドラム10a、10bは、第1冷却ドラム10aと第2冷却ドラム10bとを備えている。第1冷却ドラム10a及び第2冷却ドラム10bは、軸方向中央が僅かに窪んだ凹形状のプロファイルを有している。また、第1冷却ドラム10aと第2冷却ドラム10bとは、製造する鋳片Sの板厚あるいは内部品質に応じて、冷却ドラム10a、10bの間隔を調整可能に構成されている。第1冷却ドラム10a、第2冷却ドラム10bは、内部に

冷却媒体（例えば、冷却水）が流通可能に構成されている。冷却ドラム10a、10bの内部に冷却媒体を流通させることによって、冷却ドラム10a、10bを冷却することができる。また、冷却ドラム10a、10bの表面にはディンプルが形成されている。

[0025] 本実施形態では、第1冷却ドラム10a、第2冷却ドラム10bは、例えば、外径800mm、ドラム胴長（幅）1500mm、定常時における鋳片Sの板クラウンが30 $\mu$ mになるように設定（初期加工）されている。また、ディンプルは圧延方向の長さが1.0mm~2.0mm、深さが50 $\mu$ m~100 $\mu$ mであってもよい。すなわち、ディンプルにより形成される突起の圧延方向の長さは1.0mm~2.0mmであってもよく、ディンプルにより形成される突起の高さは50 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であってもよい。なお、一对の冷却ドラム10a、10bの外径、ドラム胴長（幅）、及びディンプル形状はこれに限定されない。

[0026] 双ドラム式連続鋳造装置10では、鋳片Sの先端にダミーシート（図示せず。）を接続して、鋳造を開始する。ダミーシートの先端には、鋳片Sよりも厚みを有するダミーバー（図示せず。）が設けられており、ダミーバーによってダミーシートが誘導される。また、鋳片Sの先端とダミーシートとの接続部には、鋳片Sの板厚よりも厚いこぶ（図示せず。）が形成される。インラインミル100における圧延では、このこぶがインラインミル100を通過した後に圧延を開始するフライングタッチと呼ばれる圧延開始方法が行われる。このような圧延開始方法により、鋳片Sの先端部からフライングタッチ開始部分までの鋳片Sは、鋳造されたままの状態となる。

[0027] （酸化防止装置）

酸化防止装置20は、鋳造直後の鋳片Sの表面が酸化してスケールが発生することを防止するための処理を行う装置である。酸化防止装置20内では、例えば、窒素ガスによって酸素量を調整することが可能である。酸化防止装置20は、鋳造する鋳片Sの鋼種等を考慮し、必要に応じて適用することが好ましい。

[0028] (冷却装置)

冷却装置30は、双ドラム式連続鑄造装置10の下流側に配置され、酸化防止装置20により酸化防止処理が表面に施された鑄片Sを冷却する装置である。冷却装置30は、例えば、複数のスプレーノズル(図示せず。)を備え、鋼種に応じてスプレーノズルから鑄片Sの表面(上面及び下面)に対して冷却水を噴出し、鑄片Sを冷却する。

[0029] なお、酸化防止装置20と冷却装置30との間に、一对の送りロール87を配置してもよい。一对の送りロール87は鑄片Sを圧延するものではなく、押付装置(図示せず。)によって鑄片Sを挟むとともに、一对の冷却ドラム10a、10bと送りロール87との間における鑄片Sのループ長を計測しながら、当該ループ長が一定となるように鑄片Sに水平方向の搬送力を付与する。送りロール87は、例えば、ロール径200mm、ロール胴長(幅)2000mmの一对のロールにより構成されている。

[0030] (第1のピンチロール装置)

第1のピンチロール装置40は、インラインミル100の入側に配置されるピンチロール装置である。第1のピンチロール装置40は鑄片Sを圧延するものではなく、上ピンチロール40a及び下ピンチロール40bと、ハウジングと、ロールチョックと、圧延荷重検出装置と、押付装置(第1のピンチロール装置40以外はいずれも図示せず。)と、を備えている。上ピンチロール40a及び下ピンチロール40bは、それぞれ内部に中空流路が形成されており、冷却媒体(例えば、冷却水)が流通可能に構成されている。冷却媒体を流通させることにより、第1のピンチロール装置40を冷却することができる。

[0031] 上ピンチロール40a及び下ピンチロール40bは、例えば、ロール径400mm、ロール胴長(幅)2000mmとしてもよい。上ピンチロール40a及び下ピンチロール40bは、ハウジング内のロールチョックを介して配置されており、モータ(図示せず。)によって回転駆動される。また、上ピンチロール40aは、上圧延荷重検出装置(図示せず。)を介してパスラ

イン調整装置（図示せず。）と連結されており、下ピンチロール40bは、押付装置（図示せず。）と接続されている。

[0032] かかる構成の第1のピンチロール装置40では、下ピンチロール40bが押付装置により上ピンチロール40a側へ押し上げられると、上ピンチロール40a及び下ピンチロール40bに負荷された押付荷重が検出されるとともに、第1のピンチロール装置40とインラインミル100との間の鋳片Sに張力が発生する。また、第1のピンチロール装置40とインラインミル100との間の鋳片Sに生じる張力が予め設定された張力になるように、一对のピンチロール40a、40bとインラインミル100における鋳片Sの移動速度は制御されている。また、第1のピンチロール装置40とインラインミル100との間の鋳片Sの張力は、テンションロール88aにて検出される。第1のピンチロールの上流側には、鋳片の位置を検出する位置検出装置41が設けられてもよい。

[0033] （インラインミル）

インラインミル100は、冷却装置30及び第1のピンチロール装置40の下流側に配置され、鋳片Sを1パス圧延して鋳片Sを所望の板厚にする圧延装置である。本実施形態では、インラインミル100は4重圧延機として構成されている。すなわち、インラインミル100は、一对のワークロール101a、101bと、ワークロール101a、101bの上下に配置されたバックアップロール102a、102bとを備える。尚、「1パス圧延」とは、連続鋳造装置10を経た鋳片Sの板厚を有する鋳片Sを、インラインミル100での1回の圧延によって、インラインミル出側で所望の板厚を有するように塑性変形させることを意味する。

[0034] インラインミル100は、鋳片Sを圧下率10%以上で1パス圧延することで、生産性を損なうことなく鋳片Sを所望の板厚にすることが可能である。圧下率は、好ましくは15%以上であり、更に好ましくは20%以上である。

圧下率の上限は特に限定されるべきものではないが、1パス圧延での圧下

率が過剰に高い場合には、後述のように摩擦係数を制御しても突起の折れ込みが発生する場合がある。従って、圧下率の上限は40%以下であることが好ましく、35%以下であることが更に好ましい。

尚、圧下率（ $r$ ）は次式で定義される。

$$r = \{ (H - h) / H \} \times 100 \quad (\%)$$

ここで、 $H$ （mm）は圧延前の鋳片Sの板厚であり、 $h$ （mm）は圧延後の鋳片Sの板厚である。

[0035] インラインミル100は、例えば、ロール径400mmのワークロール101a、101b、ロール径1200mmのバックアップロール102a、102bを用いてもよい。各ロールの胴長は同一であってもよく、例えば2000mmとしてもよい。

[0036] インラインミル100には、上記構成の他にも、ワークロールまたは鋳片の少なくとも一方に潤滑油を供給する設備等が付帯しており、潤滑条件等を制御することができる。潤滑油の供給に関する詳細な説明は、後述する。

[0037] （第2のピンチロール装置）

第2のピンチロール装置60は、インラインミル100の出側に配置されている。第2のピンチロール装置60は、第1のピンチロール装置40と同様に、鋳片Sを圧延するものではなく、上ピンチロール及び下ピンチロールと、圧延荷重検出装置と、押付装置（第2のピンチロール60以外は、いずれも図示せず。）と、を備えている。上ピンチロール及び下ピンチロールは、それぞれ内部に中空流路が形成されており、冷却媒体（例えば、冷却水）が流通可能に構成されている。冷却媒体を流通させることにより、ピンチロールを冷却することができる。上ピンチロール及び下ピンチロールは、例えば、ロール径400mm、ロール胴長（幅）2000mmとしてもよい。また、上ピンチロール及び下ピンチロールは、ハウジング内のロールチャックを介して配置されており、モータ（図示せず。）によって回転駆動される。インラインミル100と第2のピンチロール装置60の間には、テンションロール88bが配置されている。

[0038] (巻取装置)

巻取装置70は、インラインミル100と第2のピンチロール装置60の下流側に配置され、鋳片Sをコイル状に巻き取る装置である。第2のピンチロール装置60と巻取装置70の間には、デフレクターロール89が配置されている。

[0039] <3. 装置構成及び潤滑条件の制御>

突起のある鋳片をインラインミルにて圧延する場合、突起の折れ込みが生じると表面欠陥の発生につながる。そこで、本願発明者は、突起の折れ込みの発生を防止するために検討した結果、インラインミルでの鋳片とワークロールとの間の摩擦係数に応じて突起の折れ込みの発生の有無が変化すると知見を得た。そして、かかる知見に基づき、インラインミルによる圧延時の潤滑条件を制御することで鋳片とワークロールとの間の摩擦係数を制御し、突起の折れ込みの発生を防止することを想到した。以下、インラインミルによる鋳片の圧延時の潤滑条件の制御により鋳片の突起の折れ込みを発生させないようにするための潤滑条件の制御について、詳細に説明する。なお、ここでは、潤滑条件の制御の一例として、潤滑油の供給量を制御する例を挙げて説明する。

[0040] (3-1. インラインミルの構成詳細)

インラインミル100による圧延時の潤滑条件の制御を説明するにあたり、図3を参照して、本実施形態におけるインラインミル100の詳細を説明する。図3は、インラインミル100の詳細図である。

[0041] インラインミル100は、一对のワークロール101a、101bと、ワークロール101a、101bの上下に配置されたバックアップロール102a、102bとを備える。

[0042] インラインミル100の圧延方向の前後には、冷却水供給ノズル103a、103b、104a、104bが設けられ、ワークロール101a、101bに冷却水が供給される。該冷却水により、ワークロール101a、101bは冷却される。また、これらの冷却水が鋳片にかからないように、冷却

水供給ノズル103a、103b、104a、104bと鋳片Sとの間には、水切り板106a、106b、107a、107bが設けられる。

[0043] インラインミル100の入側に設置された水切り板107a、107bと鋳片Sとの間には、ワークロール表面または鋳片の少なくとも一方に潤滑油を供給する潤滑油供給ノズル105a、105bが設置される。本実施形態での説明では、これらの潤滑油供給ノズル105a、105bによる潤滑油の供給量を制御することで、潤滑条件を制御する。

[0044] 潤滑油供給ノズル105a、105bから供給される潤滑油は、潤滑油タンク115に貯蔵されている。潤滑油は、例えば、潤滑油タンク115に混入された水と圧延潤滑油とを加熱及び攪拌して作製されたエマルション潤滑油であってもよい。作製されたエマルション潤滑油は、ポンプPによって送液され、配管内を通過して潤滑油供給ノズル105a、105bから供給される。

[0045] なお、潤滑油は、水などの希釈剤を含まずに圧延潤滑油のみであってもよい。また、温水と圧延潤滑油とを別々のタンクにて貯蔵し、それぞれの貯蔵箇所から配管内に個別に供給し、その後に両者を混合及び剪断することによってエマルション潤滑油としてもよい。潤滑油供給ノズル105a、105bによる潤滑油のみの供給方法としては、例えばエアートマイズのように潤滑油そのものをワークロールに吹き付けてもよい。また、固体潤滑油を鋳片に対して供給してもよい。潤滑油供給ノズル105a、105bの供給量を変えることによって圧延機入側の鋳片の温度が変化する場合には、潤滑油供給ノズル105a、105bの供給量を変えても圧延機入側の鋳片の温度が変化しないように、冷却装置30の冷却制御により鋳片の温度を制御してもよい。なお、本実施形態では、圧延機入側に冷却水供給ノズル104a、104b、水切り板106a、106b、潤滑油供給ノズル105a、105bを配備した連続鋳造設備を示したが、冷却水供給ノズル104a、104b、水切り板106a、106bは必須ではなく、省略されてもよい。

[0046] ここで、潤滑油を供給することで潤滑条件を制御する場合には、圧延時の

様々なパラメータを測定し、潤滑条件の制御を行う必要がある。このため、例えば、潤滑条件の制御時に必要な情報を測定する測定装置 110 およびインラインミル 100 の潤滑条件の制御を行う潤滑制御装置 120 が設けられる。

[0047] 測定装置 110 は、ロードセル 111 および板速度計 112 を有する。測定装置 110 では、潤滑条件を制御するために必要な各種値の実測が行われる。ロードセル 111 は、上バックアップロール 102 a のロールチョックに配備され、圧延荷重を測定する。板速度計 112 は、圧延機出側に設けられ、鋳片の板速度 ( $V_o$ ) を測定する。板速度計 112 は、例えば、非接触型の速度測定器を用いてもよい。

[0048] 潤滑制御装置 120 は、ワークロール (WR) 速度換算器 121、演算器 122、摩擦係数算出器 123 及び摩擦係数調節器 124 を有する。潤滑制御装置 120 では、測定装置 110 にて検出及び算出された値に基づいて、摩擦係数  $\mu$  を算出して、潤滑条件を制御する。WR 速度換算器 121 は、モータ 116 の回転数から、減速機 (図示せず。) による比率とワークロール径とを用いてワークロール速度 ( $V_R$ ) を算出する。演算器 122 は、鋳片の板速度及びワークロール速度から、先進率 ( $f_s$ ) を演算する。演算器 122 では、下記の式 (1) から先進率 ( $f_s$ ) を演算する。すなわち、演算器 122 は、板速度 ( $V_o$ ) 及びワークロール速度 ( $V_R$ ) に基づき先進率 ( $f_s$ ) を求める。

$$f_s = (V_o / V_R - 1) \times 100 \dots (1)$$

[0049] 摩擦係数算出器 123 では、演算器 122 にて演算された先進率 ( $f_s$ )、及び圧延荷重に基づいて、摩擦係数  $\mu$  を算出する。そして、摩擦係数調節器 124 では、算出された摩擦係数  $\mu$  を用いて摩擦係数  $\mu$  を制御するために必要な潤滑油の供給量を計算する。摩擦係数調節器 124 は、さらに、算出した摩擦係数  $\mu$  を制御するために必要な潤滑油の供給量となるようにポンプ P を制御して、インラインミル 100 に供給する潤滑油の供給制御を行う。このように、測定装置 110 及び潤滑制御装置 120 を用いて、潤滑条件が

制御される。

[0050] (3-2. 突起の折れ込み発生と摩擦係数との関係)

図3に示したインラインミル100にて、突起のある鋳片を圧延する場合、突起の折れ込みが生じないように鋳片を圧延するため、インラインミルによる圧延時の潤滑条件の制御が行われる。本実施形態では、鋳片とワークロールとの間の摩擦係数を制御することで、かかる潤滑条件を制御する。

[0051] 突起の折れ込みは、鋳片の圧延時に発生するロールバイト内の変形に起因し、ロールバイト内の表層の剪断力に大きな影響をうける。ここで、剪断力はロールバイト内の圧縮応力（圧延荷重）と摩擦係数 $\mu$ とを乗じて算出される。双ドラム式鋳造装置により鋳造された鋳片を圧延するインラインミルでは、基本的に、鋼種や圧延速度、張力などその条件を変更することなく圧延し、圧下率も同様である。したがって、これらのパラメータの値を変化させることはできないが、摩擦係数 $\mu$ を調整すれば、インラインミルにおけるロールバイト内の表層の剪断力を変化させることができる。そこで、本願発明者は、鋳片の突起の折れ込みを防止することができる圧延時の摩擦係数 $\mu$ の適切な範囲を検討した。

[0052] 鋳片の突起の折れ込みが生じない摩擦係数の範囲を規定するにあたり、突起の幅及び突起の高さを変化させて、圧延後の鋳片の突起の折れ込み状態を検証した。図4及び図5を参照してその結果を説明する。本検証では、図4に示すように、突起Dの幅Aを1~3mm、高さBを50~200 $\mu$ mに変化させて、5つの突起の形状条件を設定した。そして、これらの突起が形成された鋳片を、摩擦係数 $\mu$ を0.10~0.33の間で変化させて、それぞれ圧延した。摩擦係数 $\mu$ は、以下に示す圧延条件に基づき圧延解析モデルを使用して算出した値である。本検証では、圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式を用いた。

[0053] 本検証での鋳片の圧延は、図2と同様の構成を備えた鋳片の製造工程において実施した。使用した鋳片は、板厚2mm、板幅1200mmであり、普通鋼であった。鋳造開始からの冷却ドラムの加速レートは150m/min

／30秒であり、定常状態の冷却ドラムの回転速度は150m/minであった。なお、冷却ドラムの初期プロフィールは定常状態で鋳片の板クラウンが43 $\mu$ mになるように初期プロフィールを加工した。なお、本検証での鋳片の圧延は、普通鋼で行ったが、圧延される鋼種は普通鋼に限定されない。

[0054] また、インラインミル100では、板温度1000 $^{\circ}$ Cの鋳片を圧下率30%で1パス圧延し、インラインミル出側の鋳片の板厚を1.4mmとした。インラインミル100での圧延は、インラインミル100をダミーシートが通過し、鋳片の板クラウン150 $\mu$ m以下になった後に開始した。本検証では、鋳造開始から15秒後にインラインミル100での圧延が開始された。圧延潤滑油としては合成エステル（ヒンダードコンプレックスエステル）をベース油とした潤滑油（融点0 $^{\circ}$ C）を、エアートマイズ方式で供給した。

[0055] 図5では、摩擦係数が0.10～0.33までの範囲で、突起の幅Aおよび高さBを変化させた5つの条件における鋼板の評価が記載されている。評価は、圧延時に不安定であったり、鋼板に突起の折れ込みが発生したりした鋼板を×で示した。また、圧延が不安定であった等の圧延時の不具合が確認されなかった上、突起が消失し折れ込みが無かった鋼板を○で示した。

[0056] 図5の評価を参照すると、突起の形状に依らず、摩擦係数 $\mu$ が0.25を超えると、突起Dに折れ込みが生じることがわかった。摩擦係数 $\mu$ が0.15以上0.25以下であれば、突起の幅A及び高さBが条件1～5のいずれの形状であっても、突起Dは消失し、折れ込みが発生することがなかった。摩擦係数 $\mu$ が0.15未満では、突起は消失するものの、摩擦係数が小さく、潤滑過多のために圧延時にスリップが生じ、圧延が不安定となった。なお、潤滑過多は、潤滑油の供給量が必要以上に多いために生じていることもあり、この場合には、潤滑油の原単位が悪化し、鋳片の製造コストが上昇することになる。摩擦係数 $\mu$ が0.25を超えた範囲では、突起Dに折れ込みが生じた。これらの結果より、摩擦係数 $\mu$ の規定範囲は0.15～0.25の範囲とする。

[0057] 以上より、本実施形態に係るインラインミル100では摩擦係数 $\mu$ の規定

範囲を0.15以上0.25以下として圧延時の潤滑条件を制御することにより、鋳片の突起の折れ込みを防止する。尚、従来の設備では、潤滑油を供給されることはなく、ロール冷却を兼ねた水潤滑が行われていた。水潤滑の場合、摩擦係数は高く、圧延解析モデルとしてOrowan理論志田の近似式による変形抵抗モデルの式を用い圧延荷重と先進率の実測値を用いて摩擦係数を計算すると摩擦係数は0.3～0.4程度の範囲であった。

[0058] (3-3. 潤滑条件の制御方法)

以下、図6に基づいて、インラインミル100での摩擦係数 $\mu$ を規定範囲とする潤滑条件の制御方法について説明する。図6は、本実施形態に係る潤滑条件の制御方法を示すフローチャートである。

[0059] [S100: 事前処理]

潤滑条件としてワークロールに対する潤滑油供給量を制御し、摩擦係数を規定範囲とする場合、まず、予め対象とする設備、すなわち図3に示すインラインミル100において、定常状態にて潤滑油の供給量を変化させ、潤滑油の供給量と摩擦係数 $\mu$ との関係を取得する(S100)。

[0060] (摩擦係数の算出方法)

ここでまず、摩擦係数の算出方法について説明する。摩擦係数 $\mu$ は、圧延解析モデルを使用して算出することができる。用いる圧延解析モデルによって摩擦係数 $\mu$ の値は若干異なる。ここでは圧延解析モデルとして、例えば非特許文献1に開示されているOrowan理論を用いて、摩擦係数 $\mu$ を算出する。また、変形抵抗モデルの式として、同じく非特許文献1に開示されている志田の近似式を用いる。

[0061] 圧延解析モデルにおいて、ロール径、張力、圧延荷重、板厚、圧延速度等は圧延時に実測でき既知数として扱うことができることから、未知数は摩擦係数 $\mu$ 及び変形抵抗となる。したがって、2つの独立した値を用いれば摩擦係数と変形抵抗とは連成問題として算出することができる。そこで、例えば圧延荷重及び先進率の実測値を代入した圧延解析モデルと圧延荷重及び先進率の計算値を代入した圧延解析モデルとにおいて、双方の値が一致するよう

に変形抵抗と摩擦係数を変化させて計算を行うことで、摩擦係数 $\mu$ を求めることができる。

[0062] 本実施形態においては、圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いたが、かかる例に限定されず、他の圧延解析モデルを用いることにより、摩擦係数 $\mu$ を求めてもよい。

[0063] また、摩擦係数 $\mu$ と先進率( $f_s$ )とは強い相関があることから、上記の圧延解析モデルにより求めた摩擦係数 $\mu$ と先進率( $f_s$ )との関係を表すデータ群を用いて、実測した先進率( $f_s$ )及び圧延荷重とから摩擦係数 $\mu$ を求める近似式を作成してもよい。例えば、摩擦係数 $\mu$ を算出する近似式は、先進率( $f_s$ )と圧延荷重( $p$ )を用いて、下記の式(2)のように表すことができる。必要に応じて鋼種や板厚や圧延温度に応じてテーブル化しても良い。

$$[0064] \quad \mu = a \cdot f_s + b \cdot p + c \cdot \dots \quad (2)$$

[0065] 式(2)にて表される近似式の定数 $a$ 、 $b$ 及び $c$ は、重回帰分析により求めてもよい。この近似式を用いることにより、圧延時に実測される先進率( $f_s$ )及び圧延荷重( $p$ )のみを用いて摩擦係数 $\mu$ を得ることができるため、圧延解析モデルを用いて実測値及び計算値を代入して求めたような摩擦係数 $\mu$ を算出する方法よりも計算負荷を低減することができる。

[0066] (摩擦係数と潤滑油供給量との関係)

次に、摩擦係数から潤滑油供給量を変更して潤滑条件を制御する場合に必要な摩擦係数と潤滑油供給量との関係を求める。摩擦係数 $\mu$ と潤滑油供給量 $Q$ との関係は、一般には、潤滑油の供給量が増加すると、潤滑油の供給を開始した初期段階では摩擦係数 $\mu$ が大幅に減少する傾向が見られ、その後摩擦係数 $\mu$ の変化が少なくなるとの傾向がある。これより、摩擦係数 $\mu$ と潤滑油供給量 $Q$ との関係は、例えば3次の近似式、すなわち下記式(3)で表すことができる。

$$[0067] \quad \mu = a \cdot Q^3 + b \cdot Q^2 + c \cdot Q + d \cdot \dots \quad (3)$$

[0068] 近似式(3)の定数 $a$ 、 $b$ 及び $c$ は、例えば重回帰分析を用いて求めてもよい。なお、潤滑油供給量 $Q$ は、ワークロールまたは鋳片の少なくとも一方

の単位表面面積に供給される正味の潤滑油の供給量をいい、エマルション潤滑油の場合には、混合された水分等の希釈溶媒は含まない。

[0069] ステップS100では、対象とする設備において、定常状態にて潤滑油の供給量を変化させて、各潤滑油供給量での圧延荷重（ $p$ ）をロードセルにより取得するとともに、演算器122により板速度（ $V$ ）及びワークロール速度（ $V_R$ ）に基づき先進率（ $f_s$ ）を求める。そして、摩擦係数算出器123により、圧延荷重及び先進率から、例えば上記式（2）を用いて、各潤滑油供給量での摩擦係数が算出される。複数の潤滑油供給量と摩擦係数との関係が取得されると、これらのデータを用いて、例えば上記近似式（3）で表される潤滑油の供給量と摩擦係数 $\mu$ との関係が取得される。ステップS100にて取得された潤滑油の供給量と摩擦係数 $\mu$ との関係に基づき、実操業におけるインラインミル100での潤滑油の供給量の制御が行われる。

[0070] [S102～S116：実操業での潤滑条件制御]

実操業におけるインラインミル100での潤滑油の供給量は、ステップS100にて取得された摩擦係数 $\mu$ と潤滑油供給量 $Q$ との関係に基づき制御される。

[0071] まず、インラインミル100による鋳片の圧延が開始されると、上バックアップロールのロールチョックに配置されるロードセル111により圧延荷重が検出される（ステップS102）。このとき、WR速度換算器121により、ワークロール101a、101bを回転させるモータ116の回転数が検出され、モータ116の回転数と減速機による比率及びワークロール径とに基づき、ワークロール速度が算出される（ステップS104）。さらにこの時、インラインミル100の出側に配置された板速度計112により鋳片Sの板速度が検出される（ステップS106）。なお、図6では、ステップS102、ステップS104及びステップS106の順序で示しているが、これらの処理は並行して実施されている。

[0072] 次に、ステップS104にて算出されたワークロール速度及びステップS106にて測定された板速度を用いて、演算器122により、先進率が演算

される（ステップS108）。そして、検出及び演算された圧延荷重及び先進率に基づいて、摩擦係数算出器123により摩擦係数 $\mu$ が算出される（ステップS110）。摩擦係数 $\mu$ は、例えば上記式（2）を用いて算出してもよい。

[0073] 次に、摩擦係数調節器124により、潤滑油供給量が算出される。摩擦係数調節器124は、まず、ステップS110にて算出された摩擦係数 $\mu$ と目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ との差分 $\Delta\mu$ を求める（ステップS112）。ここで、目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ は0.15～0.25の範囲の値に設定される。例えば、実機での圧延では、制御誤差または測定誤差等の影響により、実際の摩擦係数と計算された摩擦係数 $\mu$ とに誤差が生じることもある。これにより、実際の摩擦係数が摩擦係数の規定範囲外となることを確実に回避するために、目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ は、規定範囲を更に狭めた範囲から設定してもよい。本実施形態のように摩擦係数の規定範囲が0.15以上0.25以下であるとき、目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ は、例えば0.20としてもよい。

[0074] 次に、摩擦係数調節器124は、ステップS100にて予め取得されている既知の摩擦係数 $\mu$ と潤滑油供給量 $Q$ との関係より、ステップS112にて算出した差分 $\Delta\mu$ に対応する潤滑油の調整量（以下、「潤滑油調整量 $\Delta Q$ 」ともいう。）を算出する（ステップS114）。

[0075] 摩擦係数 $\mu$ と潤滑油供給量 $Q$ との関係として、例えば式（3）が取得されている場合、ある潤滑油供給量 $Q_0$ から $\Delta Q$ だけ潤滑油供給量が変化したときの摩擦係数 $\mu$ の変化量 $\Delta\mu_v$ は、下記の式（4）で表される。

$$\begin{aligned}
 [0076] \quad \Delta\mu_v &= d\mu/dQ \cdot \Delta Q \\
 &= (3a \cdot Q_0^2 + 2b \cdot Q_0 + c) \Delta Q \quad \dots (4)
 \end{aligned}$$

[0077] 上記式（4）より、ステップS112で算出された摩擦係数 $\mu$ と目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ との差分 $\Delta\mu$ により調整すべき潤滑油の供給量（すなわち、潤滑油供給量） $\Delta Q$ が算出される。

[0078] そして、摩擦係数調節器124は、現在設定されている潤滑油供給量 $Q$ を、摩擦係数 $\mu$ と目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ との差分 $\Delta\mu$ に応じた潤滑油調整量 $\Delta Q$ に

より調整し、潤滑油供給量 $Q + \Delta Q$ に変更する（ステップS 1 1 6）。摩擦係数調節器1 2 4は、ポンプPを制御して、潤滑油供給ノズル1 0 5 a、1 0 5 bによる潤滑油の供給量が潤滑油供給量 $Q_0 + \Delta Q$ となるようにする。これにより、摩擦係数 $\mu$ が目標摩擦係数 $\mu_{aim}$ となるようにする。

[0079] ステップS 1 0 2～S 1 1 6の処理は、鋳片の圧延中は繰り返し実施される（S 1 1 8）。鋳片の圧延が終了すると（ステップS 1 1 8 / Y e s）は、インラインミル1 0 0における潤滑条件の制御が終了する。一方、鋳片の圧延中であれば（ステップS 1 1 8 / N o）、再度、ロードセルにより圧延荷重を検出するステップ2 0 2から再度処理が開始して、潤滑油供給量を調整するステップS 1 1 6までの処理が繰り返し行われる。

[0080] 以上、本実施形態に係る潤滑条件の制御方法を説明した。本実施形態においては、ワークロールに対する潤滑油供給量に関して説明を行ったが、摩擦係数 $\mu$ を変化させることができれば、潤滑条件は潤滑油の供給量に限られない。例えば、潤滑油の種類、エマルジョン潤滑油における潤滑油及び水の比率、潤滑油の供給温度等、他の方法にて潤滑条件を制御してもよい。

[0081] 例えば、本実施形態における潤滑油としては、合成エステルや合成エステルに植物油を混ぜたものを基油としたものでも良い。また、必要に応じて、固体潤滑剤や極圧添加剤を添加しても良い。なお、潤滑油の流動点が $0^{\circ}\text{C}$ 以上であると、冬期に潤滑油が固化するので、潤滑油の流動点は $0^{\circ}\text{C}$ 未満であることが好ましい。

## 実施例

[0082] 本発明の効果を確認するために、図2に示した本実施形態に係る連続鋳造設備1と同様の設備を用いて、ディンプルにより形成された鋳片の突起の折れ込みの発生の有無等を調査した。実施例及び比較例共に、圧延方向の幅2 mm、高さ $130\ \mu\text{m}$ の突起を有する鋳片を使用した。

[0083] 本実施例は、図2と同様の構成を備えた鋳片の製造工程において実施した。本実施例では、板厚2 mm、板幅1 2 0 0 mmの普通鋼を使用した。鋳造開始からの冷却ドラムの加速レートは $150\ \text{m}/\text{min}/30$ 秒であり、定

常状態の冷却ドラムの回転速度は150m/minであった。なお、冷却ドラムの初期プロフィールは定常状態で鋳片の板クラウンが43 $\mu$ mになるように初期プロフィールを加工した。なお、本実施例において、鋳片の圧延は、普通鋼で行ったが、圧延される鋼種は普通鋼に限定されない。

[0084] また、インラインミルでは、板温度1000 $^{\circ}$ Cの鋳片を圧下率30%で1パス圧延し、インラインミル出側の鋳片の板厚を1.4mmとした。インラインミルでの圧延は、インラインミルをダミーシートが通過し、鋳片の板クラウン150 $\mu$ m以下になった後に開始した。本検証では、鋳造開始から15秒後にインラインミルでの圧延が開始された。圧延潤滑油としては合成エステル（ヒンダードコンプレックスエステル）をベース油とした潤滑油（融点0 $^{\circ}$ C）を、エアアトマイズ方式で供給した。

[0085] 本実施例では、摩擦係数 $\mu$ は、圧延時の圧延荷重（ $p$ ）及び先進率（ $f_s$ ）を測定し上記式（2）を用いて求めた。本実施例では、上記式（2）にて求めた摩擦係数 $\mu$ と、上記式（3）で表される摩擦係数 $\mu$ 及び潤滑油供給量 $Q$ の関係に基づき、上記式（4）より潤滑油調整量 $\Delta Q$ を算出し、潤滑油の供給量を制御して、目標摩擦係数 $\mu_{aim}0.21$ として潤滑油の供給量を制御した。その結果、摩擦係数 $\mu$ は0.19~0.23の範囲となるように鋳片は圧延された。圧延後の鋳片を酸洗工程において酸洗した後、さらに直径60mmのゼンジマー圧延機で板厚0.2mmまで多パス圧延した。酸洗工程では10 $\mu$ mの溶削を行った。

[0086] 一方、比較例においては、潤滑油を供給せずに、実施例と同様の圧延を行ってから酸洗工程において酸洗を行った後、実施例と同様の圧延を行った。このときの摩擦係数 $\mu$ は、圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いて算出したところ、0.38であった。また、酸洗工程では、10 $\mu$ mの溶削を行った。

[0087] 実施例及び比較例を合わせて50コイル分の圧延を行い、それぞれゼンジマー圧延機による圧延後の鋳片の表面観察を行った。表面観察の結果、実施例では、鋳片には表面欠陥が確認されなかった。一方、比較例においては、

鑄片に表面欠陥が確認された。再度、比較例の条件で同様の圧延を行ったところ、表面欠陥を解消するためには酸洗工程では30  $\mu\text{m}$ の溶削が必要であることが確認できた。すなわち、比較例では実施例の3倍の溶削を鑄片に対して行う必要があることが確認できた。これらの結果より、鑄片を圧延する際に摩擦係数 $\mu$ の範囲を適切に制御することにより、突起の折れ込みの発生を防止でき、更には従来技術より酸洗効率を3倍に向上できることがわかった。

[0088] 以上のことから、双ドラム式連続鑄造設備により鑄片を製造する際に、圧延時における鑄片表面の突起の折れ込みを防止し、酸洗効率を向上させた上で、次工程の圧延にて顕在化する表面欠陥を防止し、製造コストが低減できることが確認された。

[0089] 添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

### 産業上の利用可能性

[0090] 本発明によれば、双ドラム式連続鑄造装置により形成された突起を有する鑄片をインラインミルで圧延する際に発生する突起の折れ込みを、生産性を損なうことなく防止することを可能とする鑄片の製造方法及び連続鑄造設備を提供することができる。

### 符号の説明

[0091]	1	連続鑄造設備
	10	双ドラム式連続鑄造装置
	10a、10b	冷却ドラム
	15	金属溶湯貯留部
	20	酸化防止装置

30	冷却装置
40	第1のピンチロール装置
40 a、40 b	ピンチロール
41	位置検出装置
60	第2のピンチロール装置
70	巻取装置
88 a、88 b	テンションロール
100	インラインミル
101 a、101 b	ワークロール
102 a、102 b	バックアップロール
103 a、103 b、104 a、104 b	冷却水供給ノズル
105 a、105 b	潤滑油供給ノズル
106 a、106 b、107 a、107 b	水切り板
110	測定装置
111	ロードセル
112	板速度計
115	潤滑油タンク
116	モータ
120	潤滑制御装置
121	WR速度換算器
122	演算器
123	摩擦係数算出器
124	摩擦係数調節器

## 請求の範囲

- [請求項1] 表面にディンプルが形成された一対の冷却ドラムと一対のサイド堰とによって金属溶湯貯留部を形成し、前記一対の冷却ドラムを回転させながら前記金属溶湯貯留部に貯留された金属溶湯から前記ディンプルにより形成された突起を有する鋳片を鋳造する双ドラム式連続鋳造装置と、
- 前記双ドラム式連続鋳造装置の下流側に配置され、前記鋳片を冷却する冷却装置と、
- 前記冷却装置の下流側に配置され、前記鋳片をワークロールにて圧下率10%以上の1パス圧延を行うインラインミルと、
- 前記インラインミルの下流側に配置され、前記鋳片をコイル状に巻取る巻取装置と、
- を備える連続鋳造設備によって鋳片を製造する方法であって、
- 圧延解析モデルを用いて前記鋳片を圧延する時の圧延荷重及び先進率の実測値から摩擦係数を算出し、前記摩擦係数が所定の範囲内に入るように、前記鋳片の圧延時の潤滑条件を制御し、
- 前記圧延解析モデルとしてOrowan理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いて前記圧延荷重及び先進率の実測値から前記摩擦係数を算出した場合に、前記所定の範囲が0.15以上0.25以下である
- ことを特徴とする鋳片の製造方法。
- [請求項2] 前記突起の高さが50 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項1に記載の鋳片の製造方法。
- [請求項3] 前記潤滑条件は、前記ワークロールまたは鋳造された前記鋳片の少なくとも一方に供給される潤滑油の供給量であることを特徴とする請求項1又は2に記載の鋳片の製造方法。
- [請求項4] 表面にディンプルが形成された一対の冷却ドラムと一対のサイド堰とによって金属溶湯貯留部を形成し、前記一対の冷却ドラムを回転さ

せながら前記金属溶湯貯留部に貯留された金属溶湯から前記ディンプルにより形成された突起を有する鋳片を鋳造する双ドラム式連続鋳造装置と、

前記双ドラム式連続鋳造装置の下流側に配置され、前記鋳片を冷却する冷却装置と、

前記冷却装置の下流側に配置され、前記鋳片をワークロールにて圧下率10%以上の1パス圧延を行うインラインミルと、

前記インラインミルの下流側に配置され、前記鋳片をコイル状に巻取る巻取装置と、

前記インラインミルにより圧延される前記鋳片の圧延荷重及び先進率を実測する測定装置と、

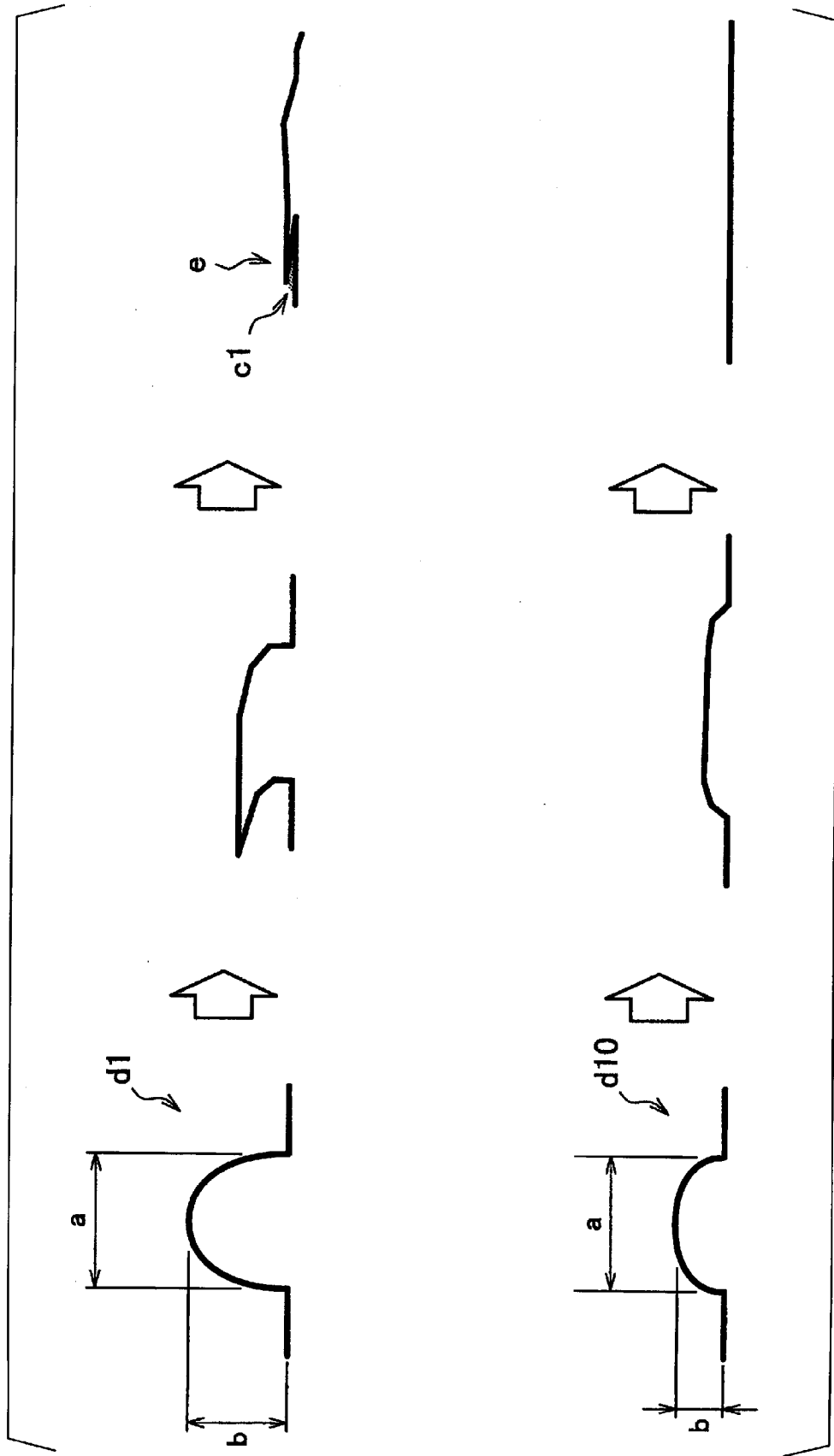
圧延解析モデルを用いて、前記圧延荷重及び先進率の実測値から摩擦係数を算出し、前記摩擦係数が所定の範囲内に入るように、前記鋳片の圧延時の潤滑条件を制御する潤滑制御装置と、  
を備え、

前記圧延解析モデルとしてO r o w a n理論と志田の近似式による変形抵抗モデルの式とを用いて前記圧延荷重及び先進率の実測値から前記摩擦係数を算出した場合に、前記所定の範囲が0.15以上0.25以下であることを特徴とする連続鋳造設備。

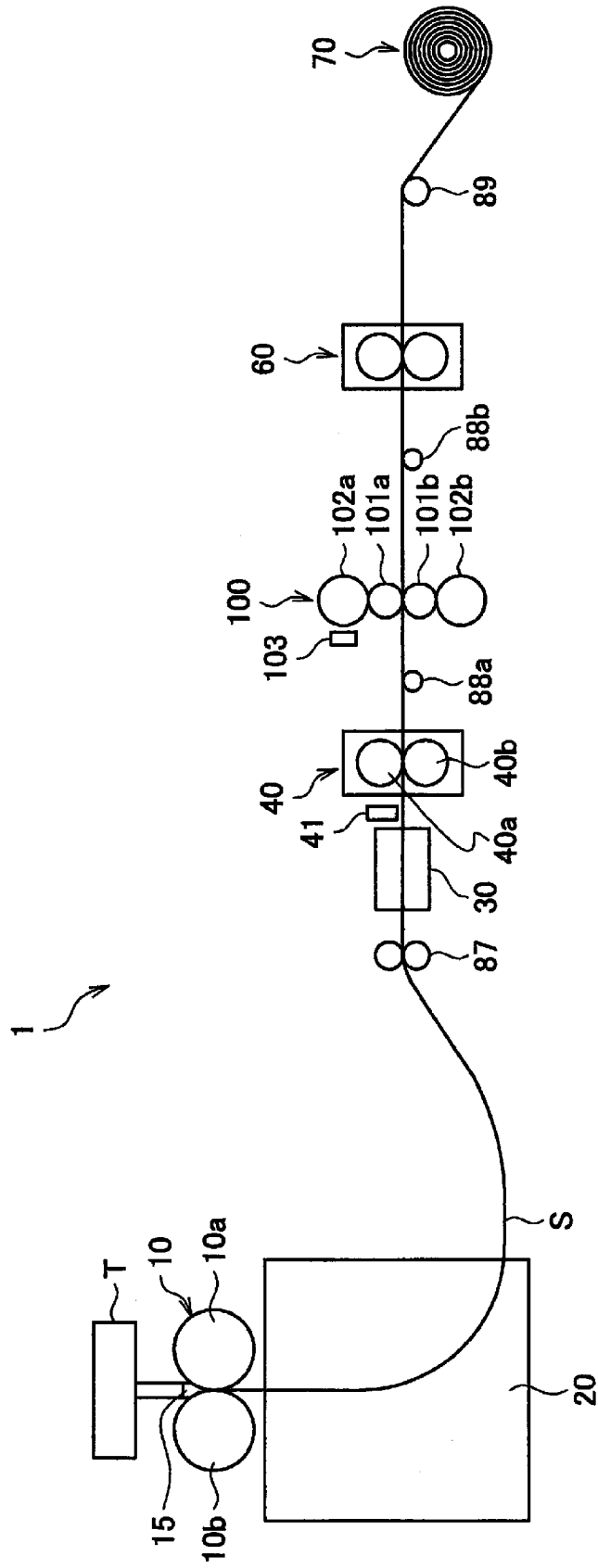
[請求項5] 前記突起の高さが50 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項4に記載の連続鋳造設備。

[請求項6] 前記潤滑制御装置は、前記摩擦係数を制御するために必要な潤滑油の供給量を計算するとともに、前記インラインミルに供給する潤滑油の供給制御を行う摩擦係数調節器を備えることを特徴とする、請求項4又は5に記載の連続鋳造設備。

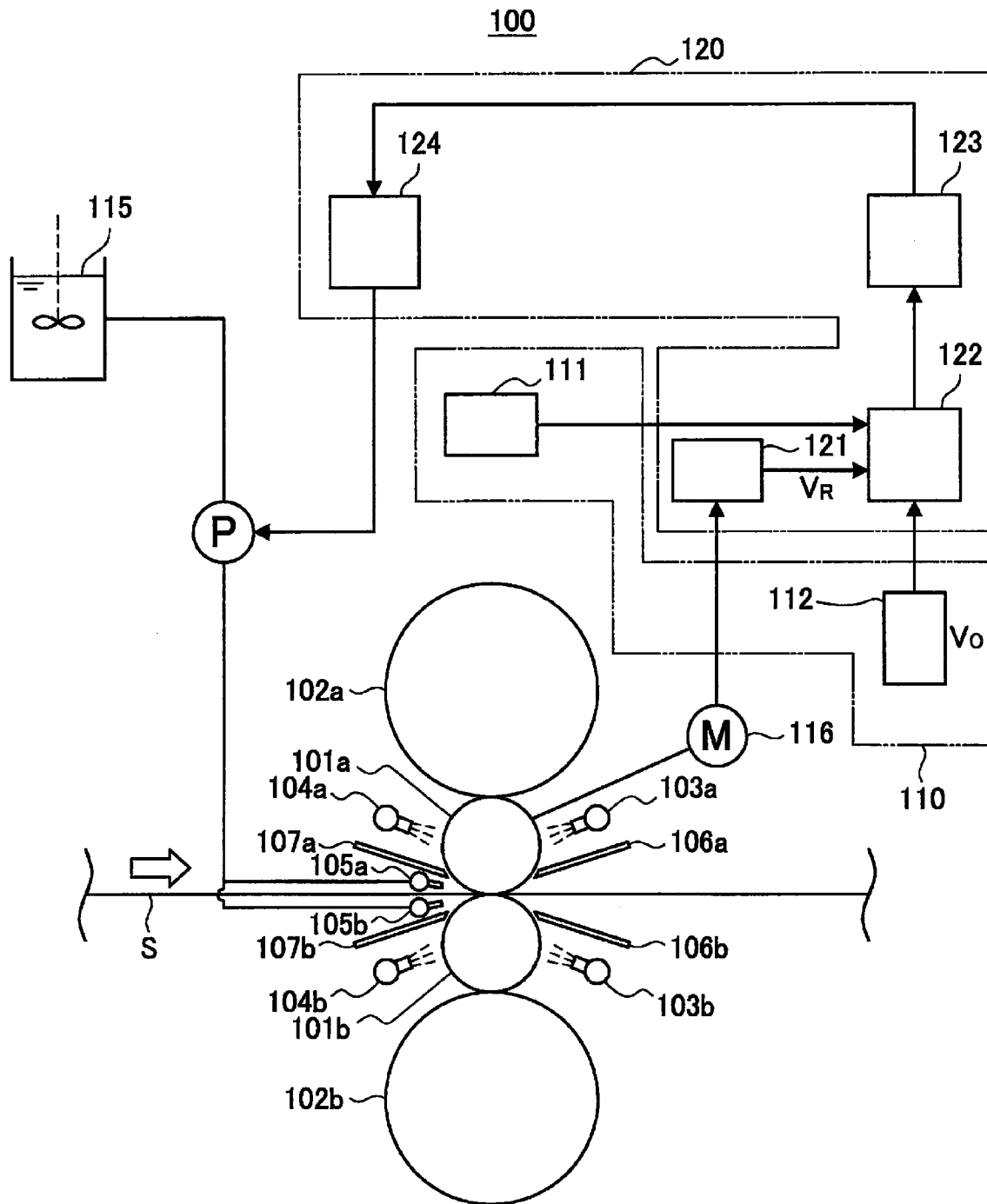
[図1]



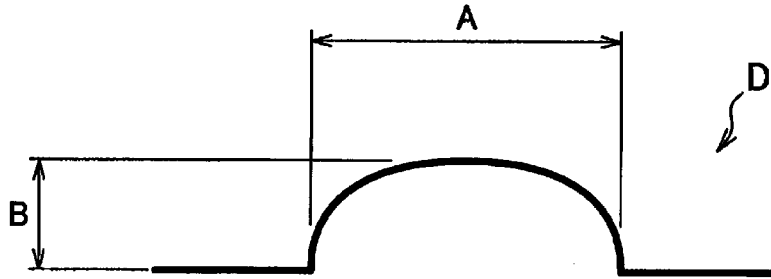
[図2]



[図3]



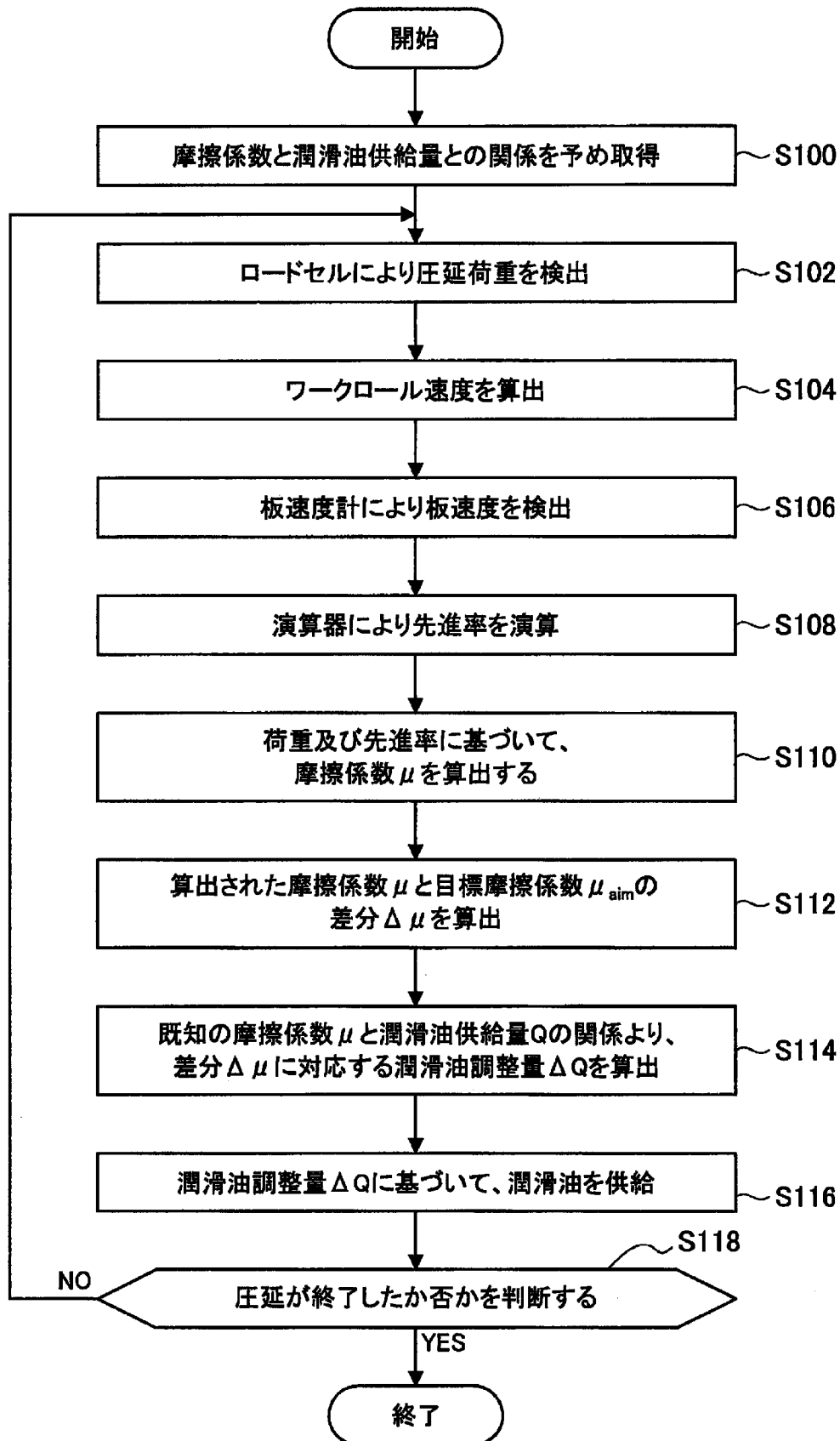
[図4]



[図5]

摩擦係数 $\mu$	条件1 A=1mm, B=50 $\mu$ m		条件2 A=1mm, B=200 $\mu$ m		条件3 A=2mm, B=130 $\mu$ m		条件4 A=3mm, B=50 $\mu$ m		条件5 A=3mm, B=200 $\mu$ m	
	評価	備考	評価	備考	評価	備考	評価	備考	評価	備考
0.10	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ
0.12	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ
0.14	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ	×	スリップ
0.15	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失
0.17	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失
0.19	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失
0.21	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失
0.23	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失
0.25	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失	○	突起が消失
0.27	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み
0.29	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み
0.31	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み
0.33	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み	×	折れ込み

[図6]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2019/007014

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 Int.Cl. B21B1/00(2006.01) i, B22D11/06(2006.01) i, B22D11/12(2006.01) i  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 Int.Cl. B21B1/00, B22D11/06, B22D11/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-94340 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 01 June 2017 (Family: none)	1-6
A	JP 2000-343183 A (NIPPON STEEL CORP.) 12 December 2000 (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“I” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 22 April 2019 (22.04.2019)	Date of mailing of the international search report 07 May 2019 (07.05.2019)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. B21B1/00(2006.01)i, B22D11/06(2006.01)i, B22D11/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. B21B1/00, B22D11/06, B22D11/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2019年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2019年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2017-94340 A（新日鐵住金株式会社）2017.06.01,（ファミリーなし）	1-6
A	JP 2000-343183 A（新日本製鐵株式会社）2000.12.12,（ファミリーなし）	1-6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 22.04.2019	国際調査報告の発送日 07.05.2019
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 坂本 薫昭 電話番号 03-3581-1101 内線 3425	4E	9265
--	---	----	------