

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7284403号

(P7284403)

(45)発行日 令和5年5月31日(2023.5.31)

(24)登録日 令和5年5月23日(2023.5.23)

(51)国際特許分類

F I

B 2 2 D 11/06 (2006.01)

B 2 2 D

11/06

3 3 0 B

B 2 2 D 11/10 (2006.01)

B 2 2 D

11/10

3 3 0 E

請求項の数 2 (全17頁)

(21)出願番号 特願2019-210247(P2019-210247)
(22)出願日 令和1年11月21日(2019.11.21)
(65)公開番号 特開2021-79418(P2021-79418A)
(43)公開日 令和3年5月27日(2021.5.27)
審査請求日 令和4年7月6日(2022.7.6)

(73)特許権者 000006655
日本製鉄株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(74)代理人 100096389
弁理士 金本 哲男
(74)代理人 100101557
弁理士 萩原 康司
(74)代理人 100167634
弁理士 扇田 尚紀
(74)代理人 100187849
弁理士 齊藤 隆史
(74)代理人 100212059
弁理士 三根 卓也
(72)発明者 村尾 武政
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 双ロール式連続鋳造装置および双ロール式連続鋳造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに反対方向に回転する一对の冷却ロールと、前記冷却ロールの長さ方向における両端面に摺接する一对のサイド堰と、一对の前記冷却ロールと一对の前記サイド堰とにより形成される溶融金属プール内に溶融金属を供給する鋳造ノズルと、を備え、前記溶融金属プール内の溶融金属から帯状の鋳片を鋳造する双ロール式連続鋳造装置であって、前記鋳造ノズルは、その先端部に、下記式(1)の条件を満足するように前記溶融金属を吐出可能な吐出孔を有し、

$$0 < (1 - w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V < 30 \cdots (1)$$

(ただし、 w_1 [mm] は鋳造幅、 t_1 [mm] は鋳造板厚、 w_2 [mm] は前記吐出孔の幅、 t_2 [mm] は前記吐出孔の厚み、 V は鋳造速度 [m p m] である。)

10

前記鋳造ノズルの前記溶融金属プールの湯面に対する浸漬角度 θ [°] が下記式(2)を満足し、かつ、前記湯面と前記冷却ロールの表面との接触位置から前記鋳造ノズルの前記溶融金属への浸漬位置までの水平方向の距離 L [mm] が下記式(3)を満足するように、前記鋳造ノズルが設置されることを特徴とする、双ロール式連続鋳造装置。

$$\theta = 90 - \varphi \cdots (2)$$

$$R(\cos(90 - \theta) - \cos \varphi) - R(\sin \varphi - \sin(90 - \theta)) / \tan \theta = L < 1/2 \times R(1 - \cos \varphi) \cdots (3)$$

(ただし、式(2)および(3)において、 φ [°] は前記湯面の接触弧角であり、 R [mm] は前記冷却ロールの半径である。)

20

【請求項 2】

互いに反対方向に回転する 1 対の冷却ロールと、前記冷却ロールの長さ方向における両端面に摺接する一対のサイド堰とにより形成した熔融金属プール内に、鑄造ノズルから供給された熔融金属を凝固させて帯状の鑄片を連続鑄造する双ロール式連続鑄造方法であって、前記鑄造ノズルは、下記式 (1) の条件を満足するように前記熔融金属を吐出可能な吐出孔を有し、

$$0 < (1 - w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V < 30 \quad \cdots (1)$$

(ただし、 w_1 [mm] は鑄造幅、 t_1 [mm] は鑄造板厚、 w_2 [mm] は前記吐出孔の幅、 t_2 [mm] は前記吐出孔の厚み、 V は鑄造速度 [m/min] である。)

前記鑄造ノズルの前記熔融金属プールの湯面に対する浸漬角度 θ [°] が下記式 (2) を満足し、かつ、前記湯面と前記冷却ロールの表面との接触位置から前記鑄造ノズルの前記熔融金属への浸漬位置までの水平方向の距離 L [mm] が下記式 (3) を満足するように、前記鑄造ノズルを設置して鑄造することを特徴とする、双ロール式連続鑄造方法。

$$0 < 90 - \varphi < 90 \quad \cdots (2)$$

$$R (\cos (90 - \theta) - \cos \varphi) - R (\sin \varphi - \sin (90 - \theta)) / \tan \theta < L < 1/2 \times R (1 - \cos \varphi) \quad \cdots (3)$$

(ただし、式 (2) および (3) において、 φ [°] は前記湯面の接触弧角であり、 R [mm] は前記冷却ロールの半径である。)

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、双ロール式連続鑄造装置および双ロール式連続鑄造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

双ロール式連続鑄造方法は、溶湯を直接薄板状の鑄片に鑄造する方法である。この鑄造方法に用いられる双ロール式連続鑄造装置においては、回転する一対の冷却ロール（双ロール）と、このロールの両端面に当接される一対のサイド堰によって形成される鑄型内に溶湯（例えば、溶鋼等の熔融金属）を供給し、鑄型内に所定の湯面レベルの熔融金属プールを形成する。この熔融金属プール内の溶湯を冷却ロールの表面との接触部分において冷却して凝固シェルを形成および成長させ、この凝固シェルを一対の冷却ロールの最接近部に形成されるロールギャップにおいて圧接および一体化することにより、帯状の鑄片が鑄造される。この場合、凝固シェルは、熔融金属が冷却ロールに接触した点から凝固を開始し、成長を続けてロールキス点で所定の厚さの凝固シェルとなり、このシェルを圧下して一定の厚さの鑄片となる。

【0003】

双ロール式連続鑄造方法において、熔融金属を双ロールとサイド堰とにより形成される鑄型内に注入すると、冷却ロールの周面に結晶核が生成し、その一部が溶湯内の温度勾配に平行に成長する。その結果、凝固組織として柱状晶組織が形成される。この際、柱状晶組織の凝固シェルの表面に対する傾きを制御することが重要である。例えば、特許文献 1 には、柱状晶組織として凝固シェルの表面（すなわち、鑄造方向）に対して垂直に成長するのが好ましく、無方向性電磁鋼板の双ロール式連続鑄造方法において、板面に垂直な方向に 100 方位が揃った柱状晶組織を有する鑄片を製造することにより、磁気特性に優れた無方向性電磁鋼板が製造できることが開示されている。

【0004】

ここで、柱状晶組織の傾きは、柱状晶先端における熔融金属の流速によって決まる。双ロール式連続鑄造方法では、ロール型の鑄型が回転するため、相対的に冷却ロールの表面に対する柱状晶先端での熔融金属の流動が発生し、柱状晶組織が凝固シェルの表面に対して傾斜する。これに対して、柱状晶組織の傾きを抑えるためには、鑄造速度を遅くすることで、冷却ロールに対する柱状晶先端での熔融金属の流動を抑制する、すなわち、冷却ロールに対する熔融金属の相対速度を低下させると良いと考えられる。

【 0 0 0 5 】

また、柱状晶組織の傾きを制御する方法として、例えば、特許文献 2 では、溶鋼と冷却ロールの接触を制御することで凝固シェルの成長を制御し、併せてロール回転速度を変えることで柱状晶組織の傾き角度を制御することが開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 文献 】 特願昭 6 1 - 8 4 0 9 1 号

特開平 5 - 2 7 7 6 5 7 号公報

【 発明の概要 】

10

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、柱状晶組織の傾きを抑えるために鑄造速度を遅くすると、生産性が低下するとともに、凝固シェルの成長が進むため、鑄造される帯状の鑄片の板厚が増加する。そのため、所望の鑄片の板厚が得られない場合がある。

【 0 0 0 8 】

また、特許文献 2 の方法では、柱状晶組織の傾きを垂直、すなわち、鑄造方向に平行に近づけるほど鑄造速度が遅くなり、上記と同様に、生産性が低下するとともに、鑄造される帯状の鑄片の板厚が増加する。

【 0 0 0 9 】

20

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、双ロール式連続鑄造装置およびこの装置を用いた双ロール式連続鑄造方法において、凝固シェルの柱状晶組織の傾きを抑制することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

上記課題を解決する本発明は、互いに反対方向に回転する一対の冷却ロールと、前記冷却ロールの長さ方向における両端面に摺接する一対のサイド堰と、一対の前記冷却ロールと一対の前記サイド堰とにより形成される熔融金属プール内に熔融金属を供給する鑄造ノズルと、を備え、前記熔融金属プール内の熔融金属から帯状の鑄片を鑄造する双ロール式連続鑄造装置であって、前記鑄造ノズルは、その先端部に、下記式 (1) の条件を満足するように前記熔融金属を吐出可能な吐出孔を有し、

30

$$0 < (1 - w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V < 30 \cdots (1)$$

(ただし、 w_1 は鑄造幅、 t_1 は鑄造板厚、 w_2 は前記吐出孔の幅、 t_2 は前記吐出孔の厚み、 V は鑄造速度である。)

前記鑄造ノズルの前記熔融金属プールの湯面に対する浸漬角度 θ が下記式 (2) を満足し、かつ、前記湯面と前記冷却ロールの表面との接触位置から前記鑄造ノズルの前記熔融金属への浸漬位置までの水平方向の距離 L が下記式 (3) を満足するように、前記鑄造ノズルが設置されることを特徴としている。

$$\theta = 90 - \varphi \cdots (2)$$

$$R (\cos (90 - \theta) - \cos \varphi) - R (\sin \varphi - \sin (90 - \theta)) / \tan \theta = L < 1 / 2 \times R (1 - \cos \varphi) \cdots (3)$$

40

(ただし、式 (2) および (3) において、 φ は前記湯面の接触弧角であり、 R は前記冷却ロールの半径である。)

【 0 0 1 1 】

本発明に係る双ロール式連続鑄造装置によれば、柱状晶先端に冷却ロールの回転速度に近い流速を与え、柱状晶先端における熔融金属の冷却ロールの表面に対する相対速度を小さくすることにより、柱状晶組織を鑄造方向に対して垂直な方向に成長させることが可能となる。

【 0 0 1 2 】

別な観点による本発明は、互いに反対方向に回転する 1 対の冷却ロールと、前記冷却口

50

ールの長さ方向における両端面に摺接する一対のサイド堰とにより形成した熔融金属プール内に、鑄造ノズルから供給された熔融金属を凝固させて帯状の鑄片を連続鑄造する双ロール式連続鑄造方法であって、前記鑄造ノズルは、下記式(1)の条件を満足するように前記熔融金属を吐出可能な吐出孔を有し、

$$0 < (1 - w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V < 30 \dots (1)$$

(ただし、 w_1 は鑄造幅、 t_1 は鑄造板厚、 w_2 は前記吐出孔の幅、 t_2 は前記吐出孔の厚み、 V は鑄造速度である。)

前記鑄造ノズルの前記熔融金属プールの湯面に対する浸漬角度 θ が下記式(2)を満足し、かつ、前記湯面と前記冷却ロールの表面との接触位置から前記鑄造ノズルの前記熔融金属への浸漬位置までの水平方向の距離 L が下記式(3)を満足するように、前記鑄造ノズルを設置して鑄造することを特徴としている。

$$\theta = 90 - \varphi \dots (2)$$

$$R(\cos(90 - \theta) - \cos \varphi) - R(\sin \varphi - \sin(90 - \theta)) / \tan \theta = L = 1/2 \times R(1 - \cos \varphi) \dots (3)$$

(ただし、式(2)および(3)において、 φ は前記湯面の接触弧角であり、 R は前記冷却ロールの半径である。)

【0013】

本発明に係る双ロール式連続鑄造方法によれば、柱状晶先端に冷却ロールの回転速度に近い流速を与え、柱状晶先端における熔融金属の冷却ロールの表面に対する相対速度を小さくすることにより、柱状晶組織を鑄造方向に対して垂直な方向に成長させることが可能となる。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、双ロール式連続鑄造装置およびこの装置を用いた双ロール式連続鑄造方法において、冷却ロールの表面に対する柱状晶先端での熔融金属の相対速度を低下させることで、凝固シェルの柱状晶組織の傾きを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】柱状晶先端における熔融金属の冷却ロールに対する相対速度と、柱状晶組織の凝固シェルの表面に対する傾角との関係の一例を示すグラフである。

【図2】双ロール式連続鑄造における鑄造速度と鑄造板厚との関係の一例を示すグラフである。

【図3】本発明の好適な実施形態に係る双ロール式連続鑄造装置の構成の一例を概略的に示す斜視図である。

【図4】図3の双ロール式連続鑄造装置の構成を示す熔融金属プールの湯面側から見た平面図である。

【図5】図3の双ロール式連続鑄造装置の構成を示す正面図である。

【図6】鑄造ノズルを湯面に対して垂直に設置した場合の熔融金属の流れを示す説明図である。

【図7】本発明の好適な実施形態に係る鑄造ノズルの設置方法を示す説明図である。

【図8】本実施形態に係る双ロール式連続鑄造装置における熔融金属の流れを示す説明図である。

【図9】本実施形態に係る鑄造ノズルの設置位置を示す説明図である。

【図10】式(1)における各寸法を模式的に示す説明図である。

【図11】本発明の好適な実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法における鑄造速度と、冷却ロールに対する熔融金属の相対速度との関係の一例を示すグラフである。

【図12】本発明の好適な実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法における鑄造板厚と鑄造速度との関係の一例を示すグラフである。

【図13】実施例における接触弧角と湯面の寸法との関係を示す説明図である。

【図14】実施例における柱状晶組織の傾角の定義を模式的に示す説明図である。

【図 1 5】実施例 1 における鑄造ノズルの設置例を模式的に示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、本明細書および図面において、実質的に同一の機能構成を有する要素においては、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0017】

(柱状晶組織が傾斜する原因の検討)

初めに、双ロール式連続鑄造方法において柱状晶組織が凝固シェルの表面に対して傾斜する原因について、本発明者らが検討した結果を説明する。

【0018】

上述したように、柱状晶組織の傾きは、柱状晶先端における溶融金属の流速によって決まる。図 1 に、柱状晶先端における溶融金属の冷却ロールに対する相対速度 (m p m : m e t e r p e r m i n u t e) と、鑄造方向に垂直な方向に対する柱状晶組織の傾角 (°) との関係の一例を示し、図 2 に、双ロール式連続鑄造における鑄造速度 (m p m) と鑄造板厚 (m m) との関係の一例を示す。図 2 には、定常操業時 (溶融金属プールの湯面レベルが一定の状態での鑄造時) における接触弧角が 60° である場合であって、冷却ロールのロール径が $\phi 600$ m m、 $\phi 800$ m m、 $\phi 1000$ m m、 $\phi 1200$ m m の場合の例を示している。

【0019】

双ロール式連続鑄造方法では、ロール型の鑄型が回転するため、相対的に冷却ロールの表面に対する柱状晶先端での溶融金属の流動が発生し、柱状晶組織が凝固シェルの表面に対して傾斜する。図 1 に示すように、相対速度が増加するほど柱状晶組織の傾角も大きくなることから、柱状晶組織の傾きを抑えるためには、鑄造速度を低下させると良いと考えられる。ただし、図 2 に示すように、鑄造速度が低下すると、鑄造板厚が増加する。双ロール式連続鑄造方法により製造される薄板状の鑄片の厚みは、通常、1.0 m m ~ 2.5 m m であることから、鑄造速度を過度に低下させることはできない。

【0020】

ここで、柱状晶組織の傾角は、鑄片の材質にもよるが、通常、15° 以下であることが好ましい。図 1 から、柱状晶組織の傾角を 15° 以下に抑えるためには、溶融金属の冷却ロールに対する相対速度を 30 m p m 以下とする必要がある。鑄造速度が溶融金属の冷却ロールに対する相対速度に等しいと仮定すると、柱状晶組織の傾角を 15° 以下に抑えるためには、鑄造速度を 30 m p m 以下とする必要がある。

【0021】

しかし、図 2 のハッチング部に示したように、一般に用いられる鑄造ノズルを使用した場合、ロール径が $\phi 600$ m m ~ $\phi 1200$ m m のいずれの冷却ロールを用いたとしても、鑄造板厚を 1.0 m m ~ 2.5 m m とし、かつ、鑄造速度を 30 m p m 以下とすることはできない。

【0022】

そこで、本発明者らが鋭意検討したところ、柱状晶先端に冷却ロールの回転速度に近い流速を与え、柱状晶先端における溶融金属の冷却ロールの表面に対する相対速度を小さくする (好ましくは、ゼロに近くする) ことにより、柱状晶組織を鑄造方向に対して垂直な方向に成長させることができることを見出した。また、柱状晶先端における溶融金属に冷却ロールの回転速度に近い流速を与えるためには、溶融金属を鑄造ノズルから冷却ロールの接線方向に吐出させると良いことも見出した。

【0023】

以下、上述した知見に基づいて成された本発明の好適な実施形態に係る双ロール式連続鑄造装置およびこの装置を用いた双ロール式連続鑄造方法を詳述する。

【0024】

(双ロール式連続鑄造装置の構成)

まず、図３～図１０を参照しながら、本実施形態に係る双ロール式連続鋳造装置の構成について説明する。図３は、本実施形態に係る双ロール式連続鋳造装置の構成の一例を概略的に示す斜視図である。図４は、図３の双ロール式連続鋳造装置の構成を示す溶融金属プールの湯面側から見た平面図であり、図５は、図３の双ロール式連続鋳造装置の構成を示す正面図である。図６は、鋳造ノズルを湯面に対して垂直に設置した場合の溶融金属の流れを示す説明図である。図７は、本実施形態に係る鋳造ノズルの設置方法を示す説明図である。図８は、本実施形態に係る双ロール式連続鋳造装置における溶融金属の流れを示す説明図である。図９は、本実施形態に係る鋳造ノズルの設置位置を示す説明図である。図１０は、式（１）における各寸法を模式的に示す説明図である。

【００２５】

図３～図５に示すように、本実施形態に係る双ロール式連続鋳造装置１は、一对の冷却ロール１１（１１ａ、１１ｂ）と、一对のサイド堰１２（１２ａ、１２ｂ）と、鋳造ノズル１４と、を主に備え、これら一对の冷却ロール１１と一对のサイド堰１２とにより形成された溶融金属プール１３内の溶湯から帯状の鋳片（金属ストリップ）Ｓを鋳造する。

【００２６】

一对の冷却ロール１１ａ、１１ｂは互いに反対方向に（冷却ロール１１ａ、１１ｂのそれぞれが溶融金属プール１３に向かうように）回転し、双ロール式連続鋳造装置１は、レードルまたはタンディッシュ等から供給されて鋳造ノズル１４から溶融金属プール１３に注入された溶融金属を連続鋳造する。双ロール式連続鋳造装置１においては、回転する一对の冷却ロール１１間に溶融金属が注入され、各冷却ロール１１ａ、１１ｂの表面からの抜熱により、各冷却ロール１１ａ、１１ｂの表面に凝固シェルが形成される。２枚の凝固シェルは、一对の冷却ロール１１ａ、１１ｂ間のギャップＧにおける間隔が最も小さい点（ロールキス点）で圧着され、１枚の帯状の鋳片（ストリップ）Ｓになる。

【００２７】

冷却ロール１１は、溶湯との接触による加熱に伴う熱変形が少ないこと、加熱・冷却の繰り返しで疲労破壊しないこと、溶融金属を凝固させるための熱的条件が安定していることが要求される。こうした条件を満足させるために、冷却ロール１１は、例えば、ステンレス鋼・銅合金・ニッケルめっきの３層構造とし、内部に冷却水路を設けることが好ましい。

【００２８】

また、鋳造ノズル１４は、溶湯と接触することから、使用に耐え得る十分な強度、耐熱性等を有する耐火物で構成されていることが好ましい。この耐火物の材質としては、 $\text{CaO} \cdot \text{ZrO}_2$ 、 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 SiO_2 、 ZrO_2 、 SiC 、 C （グラファイト）、 BN 等の単成分から作製された耐火物であってもよく、あるいは、上記の成分の複合成分から作製された耐火物であってもよい。

【００２９】

ここで、図６に示すように、双ロール式連続鋳造装置における一般的な鋳造ノズル１６は、一对の冷却ロール１１間の中央に配置される。この場合、鋳造ノズル１６から吐出された溶融金属は、図６の矢印Ｆ１に示すように、一对の冷却ロール１１間の中央を鋳造方向に向かって下降した後、反転して冷却ロール１１の表面付近（表層）を、冷却ロール１１の回転方向Ｒ１と逆方向に向かって駆け上がるように流動する。すなわち、冷却ロール１１の回転方向Ｒ１に対して逆方向の溶融金属の流動が生じ、溶融金属の冷却ロール１１の表面に対する相対速度が大きくなり、柱状晶組織が凝固シェルの表面に対して傾斜する。

【００３０】

これに対して、本実施形態では、図７に示すように、鋳造ノズル１４の溶融金属プール１３の湯面Ｍに対する浸漬角度 θ が下記式（２）を満足し、かつ、湯面Ｍと冷却ロール１１の表面との接触位置Ｔから鋳造ノズル１４の溶融金属への浸漬位置Ｄまでの水平方向（湯面Ｍの幅方向）の距離Ｌが下記式（３）を満足するように、鋳造ノズル１４が設置される。

$$\theta \quad 90 - \varphi \quad \cdots (2)$$

10

20

30

40

50

$$R(\cos(90 - \theta) - \cos \varphi) - R(\sin \varphi - \sin(90 - \theta)) / \tan \theta = L - 1/2 \times R(1 - \cos \varphi) \cdots (3)$$

【0031】

ただし、式(2)および(3)において、 φ は湯面Mの接触弧角であり、Rは冷却ロール11の半径である。

【0032】

ここで、溶融金属の吐出方向は、溶融金属プール13内で、冷却ロールの接線方向を向くと良く、図7に示すように、接触弧角 φ は、 $\varphi = 90 - \theta$ を満足することから、式(2)が導出される。

【0033】

また、式(3)における距離Lの下限は、以下のようにして導出される。柱状晶組織を鑄造方向に対する傾角を小さくする(望ましくは、鑄造方向に対してほぼ垂直な方向に成長させる)ためには、冷却ロール11の回転方向R1に対して逆方向の溶融金属の流動を抑制し、溶融金属の冷却ロール11の表面に対する相対速度を小さくすることが重要である。これを実現するためには、以下の条件(A)および(B)を同時に満たすように、鑄造ノズル14を設置することが必要となる。

(A) 鑄造ノズル14からの溶融金属の吐出方向が、溶融金属プール13内で、冷却ロール11との接線方向を向くようにする。

(B) 鑄造ノズル14から吐出された溶融金属が、直接冷却ロール11に衝突しないような吐出角度とする。言い換えると、鑄造ノズル14の冷却ロール11側の面の延長線(鑄造ノズル14から吐出された溶融金属の流動方向)が冷却ロール11と接触しないようにする。

【0034】

上記条件(A)および(B)を満足することにより、図8の矢印F2に示すように、冷却ロール11の表面付近(表層)では、冷却ロール11の回転方向と柱状晶先端での溶融金属の流動方向とが一致することから、冷却ロール11とその表層を流動する溶融金属との相対速度が低下し、柱状晶組織の傾きを抑制することができる。なお、溶融金属プール13内では必ず溶融金属の上昇流が発生することから、図8に示すように、冷却ロール11の表層を通過した溶融金属は、一对の冷却ロール11間の中央付近で上昇するように流動する。

【0035】

上述した条件(A)および(B)を満足する距離Lの下限は、鑄造ノズル14の冷却ロール11側の面の延長線が冷却ロール11の表面と接するときの浸漬位置Dと接触位置Tとの距離 L_{min} となる。鑄造ノズル14から吐出された溶融金属が冷却ロール11の表面と接する接点Cと接触位置Tとの鉛直方向の距離をk、接点Cと浸漬位置Dとの水平方向の距離をmとすると、距離 L_{min} は以下の式(3-1)で表される。

$$L_{min} = R\{\cos(90 - \theta) - \cos \varphi\} - m \cdots (3-1)$$

【0036】

また、距離kは、以下の式(3-2)または(3-3)で表される。

$$k = R\{\sin \varphi - \sin(90 - \theta)\} \cdots (3-2)$$

$$k = m \times \tan \theta \cdots (3-3)$$

【0037】

式(3-2)および(3-3)より、距離mは、以下の式(3-4)で表される。

$$m = R\{\sin \varphi - \sin(90 - \theta)\} / \tan \theta \cdots (3-4)$$

【0038】

式(3-4)を式(3-1)に代入すると、距離 L_{min} は、以下の式(3-5)で表される。

$$L_{min} = R(\cos(90 - \theta) - \cos \varphi) - R(\sin \varphi - \sin(90 - \theta)) / \tan \theta \cdots (3-5)$$

【0039】

10

20

30

40

50

距離 L が下限値 L_{min} 未満であると、鑄造ノズル 14 から吐出された熔融金属流が冷却ロール 11 の表面に形成された凝固シェルを再溶解するため、鑄造ができなくなる恐れがある。

【0040】

次に、式 (3) における距離 L の上限は、以下のようにして導出される。上述したように、熔融金属プール 13 内では必ず熔融金属の上昇流が発生する。このとき、鑄造ノズル 14 から吐出した熔融金属の流れと冷却ロール 11 とが離れすぎていると、上記条件 (A) および (B) を満足したとしても、冷却ロール 11 の表層と鑄造ノズル 14 との間で上昇流が発生してしまい、柱状晶先端での熔融金属の冷却ロール 11 に対する相対速度が増加し、柱状晶組織の傾きを抑制する効果を得ることができない。

10

【0041】

そこで、冷却ロール 11 の表層と鑄造ノズル 14 との間で上昇流が発生しないようにするための条件として、本発明者らが検討したところ、図 9 に示すように、鑄造ノズル 14 の浸漬位置 D は、熔融金属プール 13 の湯面 M の幅方向において、湯面 M と冷却ロール 11 の表面との接触位置 T から湯面の幅の $1/4$ の長さまでの範囲内であることを必要であることがわかった。

【0042】

したがって、一对の冷却ロール 11 間のギャップ G がゼロであると仮定すると、距離 L の上限は、鑄造ノズル 14 の浸漬位置 D が、熔融金属プール 13 の湯面 M の幅方向において、湯面 M と冷却ロール 11 の表面との接触位置 T から湯面 M の幅の $1/4$ の長さとなる

20

ときの浸漬位置 D と接触位置 T との距離 L_{max} となる。この距離 L_{max} は、以下の式 (3-6) で表される。

$$L_{max} = 1/2 \times R (1 - \cos \phi) \cdots (3-6)$$

【0043】

以上説明したように、上記式 (3-5) および (3-6) から、式 (3) が導出される。

【0044】

距離 L が上限値 L_{max} 超であると、すなわち、湯面 M の幅の $1/4$ の長さを超える範囲に鑄造ノズル 14 を浸漬させると、たとえ上記条件 (A) および (B) を満足したとしても、鑄造ノズル 14 から吐出した熔融金属の流れと冷却ロール 11 とが離れすぎてしまい、柱状晶組織の傾きを抑制する効果は得られない。

30

【0045】

また、本実施形態に係る双ロール式鑄造装置 1 に設けられる鑄造ノズル 14 は、その先端部に、下記式 (1) の条件を満足するように熔融金属を吐出可能な吐出孔 14a を有する。

$$0 < (1 - w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V < 30 \cdots (1)$$

【0046】

ただし、 w_1 は鑄造幅であり、 t_1 は鑄造板厚であり、 w_2 は吐出孔の幅であり、 t_2 は吐出孔の厚みであり、 V は鑄造速度である。

【0047】

式 (1) は、以下のようにして導出される。柱状晶組織の鑄造方向に垂直な方向に対する柱状晶組織の傾角 (°) は、鑄造直後で 15° 以下に抑えることが好ましく、そのためには、図 1 から、熔融金属の冷却ロール 11 に対する相対速度を 30 mpm 以下とする必要がある。図 10 に示すように、鑄造速度を $V (\text{mpm})$ 、鑄造板厚を $t_1 (\text{mm})$ 、鑄造幅を $w_1 (\text{mm})$ 、吐出孔 14a の厚みを $t_2 (\text{mm})$ 、吐出孔 14a の幅を $w_2 (\text{mm})$ とすると、熔融金属プール 13 への熔融金属の供給量 (鑄造ノズル 14 からの吐出量) と、熔融金属プール 13 からの熔融金属のロールキス点 K での排出量とが等しくなる (すなわち、湯面 M のレベルが一定となる定常操業となる) とき、鑄造ノズル 14 の吐出孔 14a から吐出される熔融金属の流速 v は、以下のように求められる。

40

【0048】

熔融金属プール 13 への熔融金属の供給量 (インプット量) は、 $w_2 t_2 v$ となる。ま

50

た、熔融金属プール 13 からの熔融金属のロールキス点 K での排出量（アウトプット量）は、1 個の冷却ロール 11 当たり $w_1 t_1 V$ となり、一對の冷却ロール 11 は 2 個の冷却ロール 11 a、11 b からなることから、 $2 w_1 t_1 V$ となる。ここで、定常作業時にはインプット量とアウトプット量が等しくなることから、以下の式（1 - 1）が成立する。

$$w_2 t_2 v = 2 w_1 t_1 V \cdots (1 - 1)$$

【0049】

よって、定常作業時における吐出孔 14 a から吐出される熔融金属の流速 v は、以下の式（1 - 2）で表される。

$$v = (w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V \cdots (1 - 2)$$

【0050】

ここで、熔融金属の冷却ロール 11 に対する相対速度は $V - v$ で与えられる。柱状晶組織の傾角を 15° 以下とするためには、上記相対速度が 30 mpm 以下（ 0 mpm 以上）である、すなわち、以下の式（1）を満足することが必要となる。

$$0 < (1 - w_1 t_1 / 2 w_2 t_2) V < 30 \cdots (1)$$

【0051】

以上説明した本実施形態に係る双ロール式連続鑄造装置 1 によれば、鑄造後の柱状晶組織の鑄造方向に垂直な方向に対する傾角を 15° 以下とすることができる。

【0052】

（双ロール式連続鑄造方法の流れ）

次に、上述した構成を有する本実施形態に係る双ロール式連続鑄造装置 1 を運転することにより実施される本実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法の流れについて説明する。

【0053】

本実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法では、まず、レードルまたはタンディッシュ（いずれも図示せず。）等から、鑄造ノズル 14 を用いて、冷却ロール 11 とサイド堰 12 とにより形成された熔融金属プール 13 に熔融金属の供給を開始する。熔融金属プール 13 に供給された熔融金属が回転する冷却ロール 11 の表面と接触することにより、各冷却ロール 11 a、11 b の表面からの抜熱に伴い、各冷却ロール 11 a、11 b の表面に凝固シェルが形成される。双ロール式連続鑄造装置 1 は、各冷却ロール 11 の表面に形成された 2 枚の凝固シェルを、一對の冷却ロール 11 a、11 b 間のギャップ G における間隔が最も小さい点（ロールキス点 K）で圧接および一体化することにより、帯状の薄板鑄片 S を連続鑄造する。

【0054】

ここで、本実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法では、鑄造ノズル 14 から熔融金属プール 13 へ熔融金属を供給する際、上述した式（1）を満足するように熔融金属を吐出可能な吐出孔 14 a を有する鑄造ノズル 14 を、式（2）と式（3）を同時に満足するように設置して鑄造する。これにより、柱状晶先端に冷却ロールの回転速度に近い流速を与え、柱状晶先端における熔融金属の冷却ロールの表面に対する相対速度を小さくする（好ましくは、ゼロに近くする）ことができる。その結果、柱状晶組織を鑄造方向に対してほぼ垂直な方向に成長させることができる。

【0055】

次に、図 11 および図 12 を参照しながら、本実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法の作業例について説明する。図 11 は、吐出孔 14 a の幅 w_2 を 400 mm 、吐出孔 14 a の厚み t_2 を 5 mm としたときの鑄造速度 $V \text{ (mpm)}$ と、冷却ロール 11 に対する熔融金属の相対速度 (mpm) との関係を示すグラフである。図 12 は、吐出孔 14 a の幅 w_2 を 400 mm 、吐出孔 14 a の厚み t_2 を 5 mm としたときの鑄造板厚 $t_1 \text{ (mm)}$ と鑄造速度 $V \text{ (mpm)}$ との関係を示すグラフである。なお、図 12 のハッチングは、本実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法において、鑄造板厚 t_1 を $1.5 \text{ mm} \sim 2.5 \text{ mm}$ とし、かつ、柱状晶組織の傾角を 15° 以下に抑えるために必要な鑄造速度 $V \text{ (mpm)}$ を示している。

【0056】

10

20

30

40

50

図 1 1 に示すように、例えば、鑄造板厚 t_1 が 2 . 5 mm の薄板鑄片 S を製造する場合、相対速度を 3 0 m p m に抑えたまま鑄造速度を 6 0 m p m まで増速することができる。また、図 1 2 に示すように、例えば、 $\phi 1 2 0 0$ mm の冷却ロール 1 1 を用い、柱状晶組織の傾角を 1 5 ° 以下に抑えたまま鑄造板厚 t_1 が 2 . 5 mm の薄板鑄片 S を製造することができる。【 0 0 5 7 】

以上説明した本実施形態に係る双ロール式連続鑄造方法によれば、鑄造後の柱状晶組織の鑄造方向に垂直な方向に対する傾角を 1 5 ° 以下とすることができる。【 0 0 5 8 】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されない。当業者であれば、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うることは明らかであり、そ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。10

【実施例】

【 0 0 5 9 】

上述した本発明の好適な実施形態の効果を確認するため、以下のように双ロール式連続鑄造の操業試験を行った。具体的には、鑄造ノズルのサイズおよび設置位置を種々変更し、鑄片の柱状晶組織の傾きを調査した。なお、鑄造ノズルには、 Al_2O_3 と C とを含む複合成分 ($Al_2O_3 + C$ 系成分) で作製した耐火物を用いた。鑄造ノズルの先端の吐出孔が、熔融金属プールの湯面から深さ 2 0 mm となるように鑄造ノズルを浸漬させ、以下の表 1 に示す位置に鑄造ノズルの先端が位置するように、鑄造ノズルを設置した。なお、接触弧角が 4 0 °、5 0 °、6 0 ° のときの湯面の寸法を図 1 3 に示した。20

【 0 0 6 0 】

鑄造する鋼種は、アルミ脱酸鋼 (C : 0 . 0 0 1 質量 %、S i : 0 . 0 1 質量 %、M n : 0 . 1 5 質量 %、P : 0 . 0 0 8 質量 %、S : 0 . 0 0 5 質量 %、A l : 0 . 0 3 質量 %、残部は F e 及び不可避免的不純物である。) とした。

【 0 0 6 1 】

また、鑄造条件としては、タンディッシュ容量を 5 t、冷却ロールの直径を 1 2 0 0 mm、鑄造幅を 8 0 0 mm、鑄造雰囲気を A r 雰囲気、鑄造板厚を 2 . 5 mm、鑄造幅を 8 0 0 mm、単位時間当たりの鑄造量を 1 . 1 t / 分とした。なお、鑄造板厚が 2 . 5 mm となるように、湯面の接触弧角および熔融金属の流速で制御した。接触弧角は、鑄造時にカメラで湯面を監視し、湯面画像から判断した。30

【 0 0 6 2 】

鑄造後、鑄造方向の 1 / 2 幅の部分で鑄片を切断した後に腐食させ、柱状晶組織の傾角を測定した。柱状晶組織の傾角 θ_s (°) は、図 1 4 のように定義し、1 / 4 幅の部分で 2 0 箇所の柱状晶組織の傾角 θ_s を測定し、平均化した値を柱状晶傾角として表 1 に示した。また、図 1 5 に、実施例 1 における鑄造ノズルの設置例を示す。また、本実施例の評価 (合否判定) としては、柱状晶組織の傾角 θ_s が 1 5 ° 以下の場合を ○、1 5 ° を超える場合を × とした。

【 0 0 6 3 】

40

【表 1】

No.	鑄造速度 (mpm)	接触弧角 (°)	吐出孔厚み (mm)	吐出孔幅 (mm)	鑄造ノズル 浸漬角度 θ (°)	鑄造ノズル 距離L (mm)	鑄造板厚 (mm)	相対速度 (1-wt1/2wt2)V	θ 下限値 (°)	L 下限値 (mm)	L 上限値 (mm)	柱状晶 傾角 θ_s (°)	合否
実施例1	58	60	5	400	62	100	2.50	29.0	30.0	103.3	150	14.9	○
実施例2	48.5	50	5	400	67	71	2.49	24.3	40.0	71.0	107	13.8	○
実施例3	38.5	40	5	400	72	46	2.50	19.2	50.0	45.9	70	12.2	○
実施例4	58	60	5	400	70	150	2.50	29.0	30.0	149.4	150	14.9	○
実施例5	48.5	50	5	400	74	107	2.49	24.3	40.0	106.7	107	13.8	○
実施例6	39	40	5	400	77	68	2.49	19.6	50.0	67.1	70	12.4	○
実施例7	58	60	6	300	70	150	2.50	25.8	30.0	149.4	150	14.2	○
実施例8	58	60	4	500	70	150	2.50	29.0	30.0	149.4	150	14.9	○
比較例1	58	60	20	400	90	300	2.50	50.8	30.0	-	150	19.5	×
比較例2	49	50	20	400	90	214	2.48	42.9	40.0	-	107	18.4	×
比較例3	39	40	20	400	90	140	2.49	34.1	50.0	-	70	16.9	×
比較例4	39	40	5	400	90	140	2.49	19.6	50.0	-	70	16.9	×
比較例5	58	60	6	400	61	98	2.50	33.9	30.0	98.0	150	16.0	×
比較例6	58	60	5	600	61	98	2.50	38.7	30.0	98.0	150	16.9	×
比較例7	58	60	5	400	20	27	2.50	29.0	30.0	26.7	150	19.4	×
比較例8	58	60	5	400	62	50	2.50	29.0	30.0	103.3	150	-	-

【0064】

表1に示すように、上述した式(1)、(2)および(3)をすべて満足する実施例1～8では、いずれも柱状晶組織の傾角 θ_s が15°以下となり、柱状晶組織の傾きを抑制する効果が得られていた。

【0065】

一方、従来のように鑄造ノズルの浸漬角度を90°(垂直)に設置し、かつ、湯面と冷却ロールの表面との接触位置から鑄造ノズルの浸漬位置までの距離Lが式(3)の上限値を超える比較例1～4、溶融金属の相対速度が式(1)の上限値を超える比較例5～6、および、鑄造ノズルの浸漬角度 θ が式(2)の下限値未満である比較例7では、いずれも

10

20

30

40

50

柱状晶組織の傾角 θ が 15° 超となり、柱状晶組織の傾きを抑制する効果が得られなかった。また、距離が式 (3) の下限値未満である比較例 8 では、冷却ロールの表面に形成された凝固シェルが鑄造ノズルから吐出された溶融金属によって再溶解したため、鑄造を停止した。

【産業上の利用可能性】

【0066】

本発明は、溶融金属を直接薄板状の鑄片（ストリップ）に鑄造するストリップキャスティング技術に有用である。

【符号の説明】

【0067】

- 1 双ロール式連続鑄造装置
- 11 (11a、11b) 冷却ロール
- 12 (12a、12b) サイド堰
- 13 溶融金属プール
- 14 鑄造ノズル
- 14a 吐出孔
- S 帯状の鑄片（ストリップ）
- M (溶融金属プールの) 湯面
- T 湯面の冷却ロールの表面との接触位置
- D 鑄造ノズルの溶融金属への浸漬位置

10

20

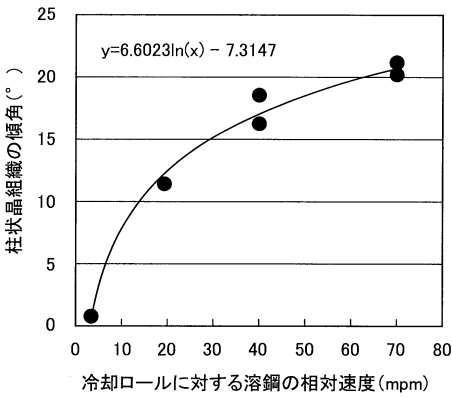
30

40

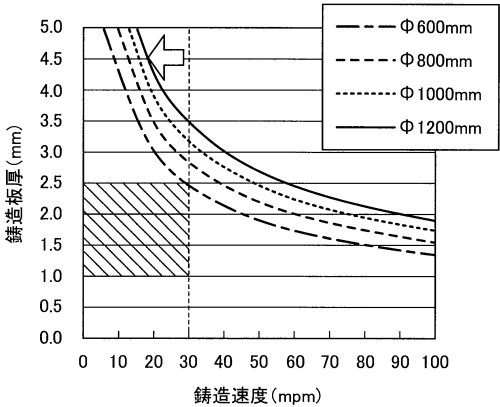
50

【図面】

【図 1】

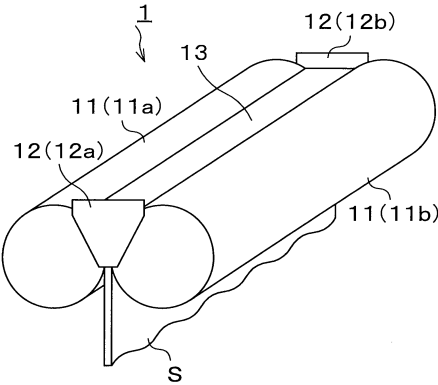


【図 2】

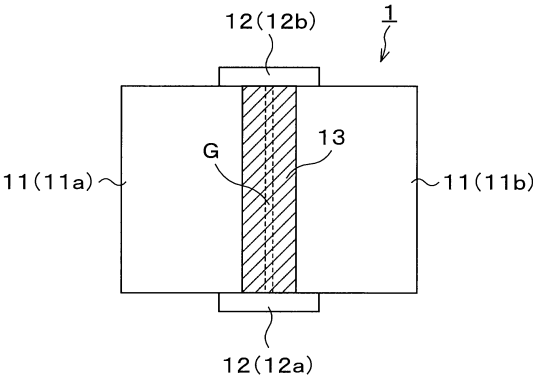


10

【図 3】



【図 4】



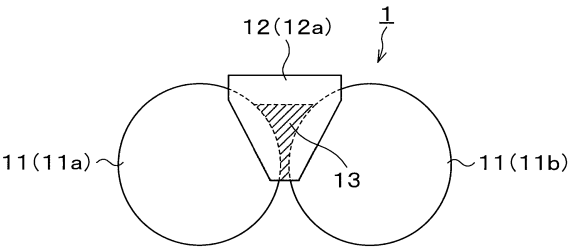
20

30

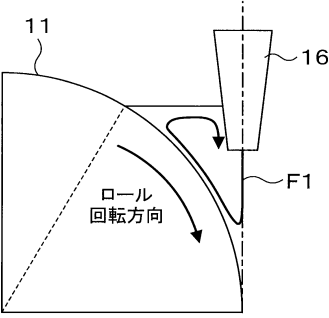
40

50

【図 5】

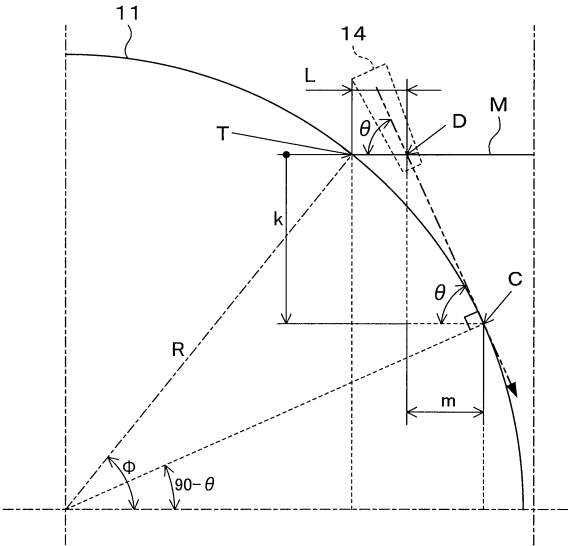


【図 6】

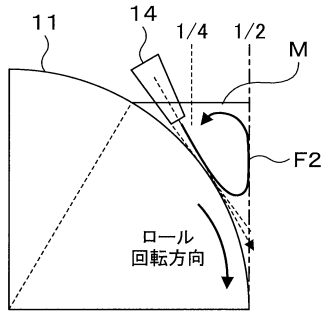


10

【図 7】



【図 8】



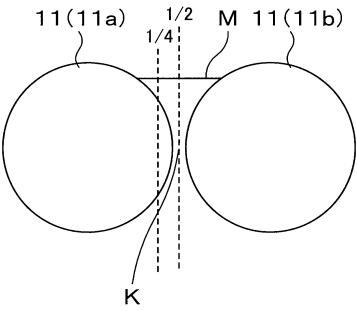
20

30

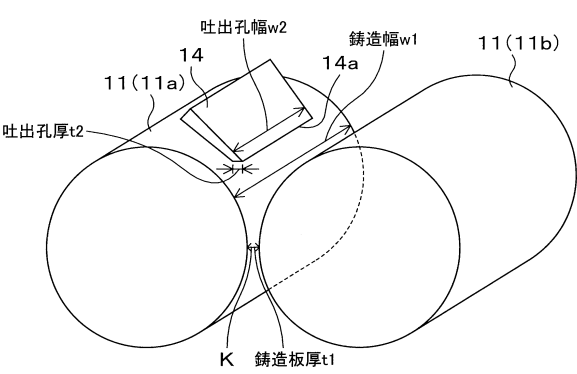
40

50

【図 9】

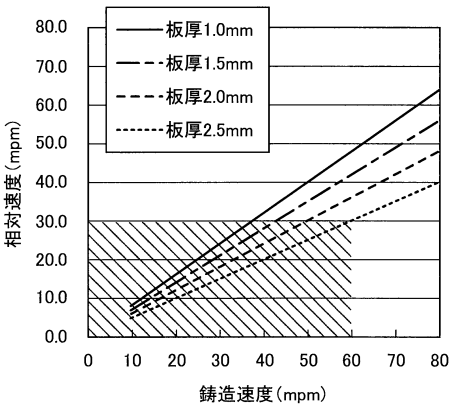


【図 10】

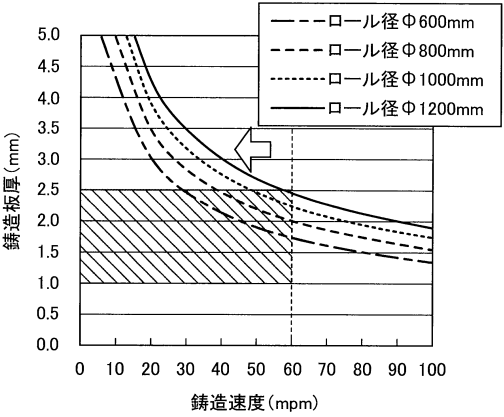


10

【図 11】



【図 12】



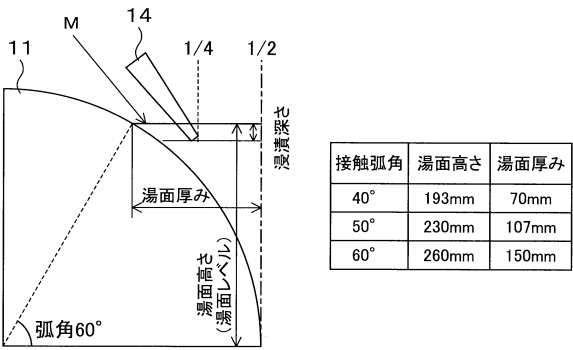
20

30

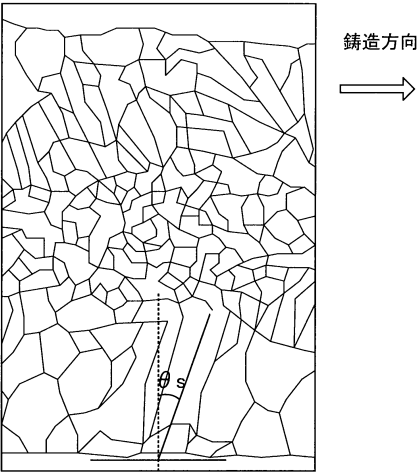
40

50

【図 1 3】

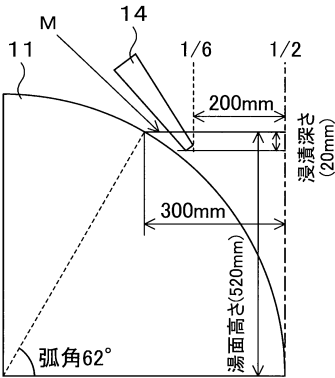


【図 1 4】



10

【図 1 5】



20

30

40

50

フロントページの続き

日本製鉄株式会社内
(72)発明者 渡邊 浩太
東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内
(72)発明者 宮崎 雅文
東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内
審査官 祢屋 健太郎
(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 7 7 6 5 7 (J P , A)
特開昭 6 2 - 2 7 0 2 5 4 (J P , A)
特許第 7 2 0 7 1 0 7 (J P , B 2)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 2 D 1 1 / 0 6
B 2 2 D 1 1 / 1 0