

(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  
2018年3月29日(29.03.2018)



(10) 国際公開番号

**WO 2018/056322 A1**

(51) 国際特許分類:

*B22D 11/04* (2006.01) *B22D 11/16* (2006.01)  
*B22D 11/059* (2006.01) *B22D 11/20* (2006.01)  
*B22D 11/128* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/033955

(22) 国際出願日: 2017年9月20日(20.09.2017)

(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 2016-183726 2016年9月21日(21.09.2016) JP  
PCT/JP2017/009906 2017年3月13日(13.03.2017) JP

(71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).

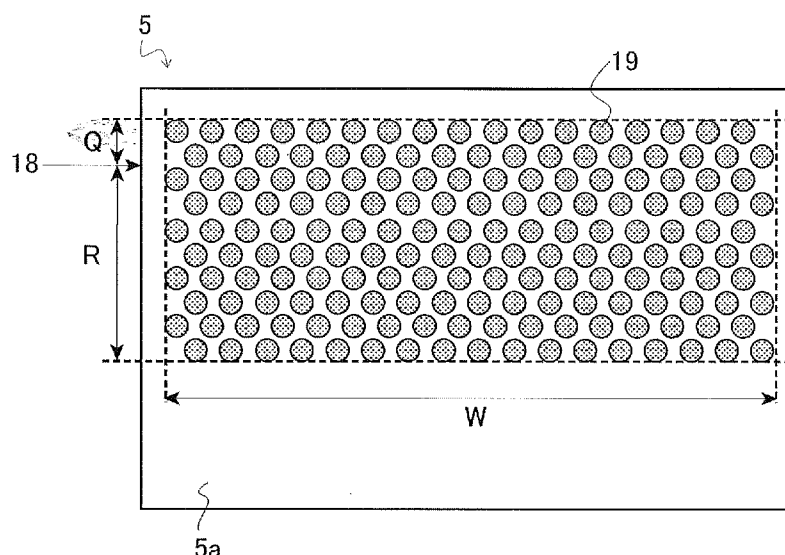
(72) 発明者: 荒牧 則親 (ARAMAKI Norichika); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 古米 孝平(FURUMAI Kohei); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 三木 祐司(MIKI Yuji); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 熊坂 晃, 外(KUMASAKA Akira et al.); 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目7

(54) Title: CONTINUOUS STEEL CASTING METHOD

(54) 発明の名称: 鋼の連続 casting 方法

[図3]



(57) **Abstract:** This method relates to the technique of providing, on the inner wall surface of a mold copper plate (5a) for continuous casting, differing-thermal-conductivity metal-filled areas (19) which are filled with a metal in which, with respect to the mold copper plate, the ratio of the thermal conductivity difference is at least 20%. By setting the interval in the width direction and the interval in the casting direction of the differing-thermal-conductivity metal-filled areas to less than or equal to a value defined by a prescribed numerical formula, it is possible to prevent surface cracking due to uneven cooling of the solidified shell in the initial solidification period during continuous casting, and to suppress center segregation occurring in the thickness center of a cast piece.



番 1 号 J F E テ ク ノ リ サ ー チ 株 式 会 社 知  
的財産事業部内 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, 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))

(57) 要約: 連続鋳造用鋳型銅板(5 a)の内壁面に、該鋳型銅板に対して熱伝導率差の比率が20%以上である金属が充填された異熱伝導金属充填部(19)を設ける技術に関し、該異熱伝導金属充填部の幅方向の間隔及び鋳造方向の間隔を、所定の数式により規定される値以下とすることにより、連続鋳造時の凝固初期の凝固シェルの不均一冷却による表面割れを防止し、鋳片の厚み中心部に発生する中心偏析を抑制する。

## 明 細 書

発明の名称： 鋼の連続鑄造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、連続鑄造技術に関し、特に凝固の初期段階における鑄片の不均一凝固を抑制することにより、鑄片の表面割れ及び中心偏析の改善に好適な鋼の連続鑄造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 一般に連続鑄造によって鋼鑄片を製造する場合、まず鑄型内に注入された溶鋼が鑄型と接して冷却され、薄い凝固層（以下、「凝固シェル」という）を形成する。こうして溶鋼を鑄型内に注入しながら凝固シェルを下方へ引き抜く（以下、「定常鑄込み」という）ことによって、鑄片を製造する。

[0003] 鑄型による冷却が不均一になると、凝固シェルの厚さが不均一になり、その結果、凝固シェルの表面は平滑にならない。特に凝固の初期段階で凝固シェルの厚さが不均一に成長すると、凝固シェルの表面に応力集中が生じて微小な縦割れが発生する。この微小な縦割れは、鑄片が完全に凝固した後も残存し、鑄片表面の縦割れとなる。鑄片の表面に縦割れが発生すると、後工程（たとえば圧延工程等）へ鑄片を送給するに先立って、縦割れの除去（以下、手入れという）が必要となる。

[0004] 鑄型は鑄造方向に振動（以下、「オシレーション」ともいう）しており、この鑄型の振動によって凝固シェルの上端部は溶鋼側に曲げられ、曲げられた凝固シェルと鑄型内壁面との空隙に溶鋼が溢流することで、凝固シェルに溶鋼側に張り出した部分（以下、「つめ」という）が形成される。凝固シェルの表面が平滑でない場合は、曲げられた凝固シェルと鑄型内壁面とで形成される空隙が大きくなり、凝固シェルのつめが大きくなる。溶鋼側に張り出したつめが大きくなると、メニスカス（鑄型内容鋼湯面）において、溶鋼中を浮上する非金属介在物や気泡が当該つめに捕捉される。捕捉された非金属介在物や気泡は、熱間圧延後の鋼板または冷間圧延後の鋼板で表面疵や膨れ

などの表面欠陥の原因となる。

[0005] このような縦割れや傷、膨れ等の表面欠陥の発生頻度は、鑄造速度の増加に伴って高まる傾向にある。今日では、一般的なスラブ連続鑄造機の鑄造速度は、10年前と比較して約1.5～2倍に向上しており、それに伴って手入れ作業も増加している。近年、技術的に確立されつつある直送加熱（いわゆるホットチャージ）や直送圧延（いわゆるダイレクトチャージ）においても、鑄片の手入れ作業は操業の安定化を阻害する要因になっている。したがって、凝固の初期段階における不均一冷却に起因する凝固シェル厚の不均一な成長およびつめの発生を防止できれば、経済的に極めて有利となる。

[0006] 凝固の初期段階における不均一冷却を防止するには、凝固の初期段階で均一かつ緩やかな冷却を行ない、凝固シェルの厚さを均一に成長させることによって、つめの生成を阻止する必要がある。この点に関して、非特許文献1には、280×280mmのビレットの連続鑄造において、鑄片の表面性状を改善するためには、鑄型内面に凹凸を付与することが有効であると記載されている。特許文献1には、直径もしくは幅が3～80mmかつ深さが0.1～1.0mmの凹部を鑄型内面に設けることが記載されている。さらに、特許文献2には、幅が0.2～2mmかつ深さが6mm以下の溝を鑄型内面に設けることが記載されている。

[0007] これらの技術は、いずれもメニスカス部にモールドパウダーを投入して、鑄型と凝固シェルとの隙間に十分な厚さのモールドパウダー層を長時間安定して維持し、鑄型内面に設けられた凹凸部に空気層や溶融パウダー層を形成させ、その空気層や溶融パウダー層の断熱性を利用して緩やかな冷却（以下、緩冷却という）を実現しようとするものである。

[0008] しかし、これらの技術を実際に連続鑄造に使用すると種々の問題が生じる。たとえば、幅変更が可能なスラブ連続鑄造機の鑄型は、長辺と短辺の組鑄型であるので、連続鑄造を開始する時に鑄型内面に設けた凹部と鑄型のコーナ一部とが一致すると、鑄込みを開始する際の溶鋼のスプラッシュがコーナ一部の凹部に差し込むという問題がある。

[0009] 浸漬ノズルを交換する時、あるいはタンディッシュを交換する時に、鋳型内の溶鋼の湯面が定常鋳込みの状態より低下するため、鋳型内面に固着したモールドパウダーが剥離、離脱しやすくなり、再度鋳込みを開始する時に溶鋼や溶鋼のスプラッシュがコーナー部の凹部に差し込むという問題がある。このような溶鋼が凹部に差し込む現象は、凝固シェルの拘束性ブレイクアウトが発生する原因になる。

[0010] 鋳片の中心偏析の生成機構は、次のように考えられている。凝固が進むにつれて、凝固組織であるデンドライト樹間に偏析成分が濃化する。この偏析成分の濃化した溶鋼が、凝固時の鋳片の収縮またはバルジングと呼ばれる鋳片のふくれなどにより、デンドライト樹間より流出する。流出した偏析成分の濃化した溶鋼が最終凝固部である凝固完了点に向かって流動し、そのまま凝固して偏析成分の濃化帯が形成される。この濃化帯が中心偏析である。鋳片の中心偏析の防止対策として、デンドライト樹間に存在する偏析成分が濃化した溶鋼の移動を防止することと、偏析成分の濃化した溶鋼の局所的な集積を防ぐことが効果的であり、これらの原理を利用したいくつかの方法が提案されている。

[0011] その1つに、圧下ロール群による鋳片の軽圧下法があるが、凝固収縮量を若干上回る程度の軽圧下では、中心偏析の改善効果には限界がある。特許文献3では、鋳片の中心部の固相率が0.1以下の位置で鋳片をバルジングさせ、幅方向中央部の鋳片の厚みを鋳型内で生じる短辺部の鋳片の厚みより20～100mm厚くした後、凝固完了点直前に少なくとも1つの圧下ロール対により、1つの圧下ロール当たりの圧下量を20mm以上とする条件で、バルジング相当量を圧下する方法が提案されている。

[0012] 特許文献4では、鋳片の未凝固部の厚みが30mmになるまでの間に、幅方向中央部の鋳片の厚みを短辺部の鋳片の厚みの10～50%相当の厚みだけバルジングさせた後、凝固完了点までに少なくとも1つの圧下ロール対により、バルジング相当量を圧下する方法が提案されている。

[0013] 特許文献5では、バルジング開始時の鋳片の厚みの3%以上25%以下バ

ルジングさせた後、中心部の固相率が0.2以上0.7以下の鑄片の位置を、バルジング量の30%以上70%以下に相当する厚みだけ圧下する鋼の連続鑄造方法が提案されている。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0014] 特許文献1：特開平9－94634号公報

特許文献2：特開平10－193041号公報

特許文献3：特開平7－210382号公報

特許文献4：特開平9－206903号公報

特許文献5：特開平11－99285号公報

## 非特許文献

[0015] 非特許文献1：P. Perminov et al、Steel in English、(1968) No. 7. p. 560～562

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0016] 鋼の連続鑄造では、上下方向の振動を鑄型に与え、当該振動により凝固シェルが鑄型に焼き付くことを防止している。鑄型の振動によって、先端部が変形を受けた鑄片の表面には、オシレーションマークと呼ばれる周期的な凹凸が形成される。オシレーションマークの凹凸が大きくなると、凝固シェル表面と鑄型との接触が不均一になり、鑄型からの抜熱量も不均一になるので、凝固シェル内面の凹凸も大きくなる。初期の凝固シェル内面の凹凸が大きくなると、最終凝固部における凝固界面が平滑でなくなり、特許文献3～5に記載された方法で圧下してもその効果が十分に得られないことがある、という課題がある。

## 課題を解決するための手段

[0017] 上記課題を解決するための本発明の要旨は以下のとおりである。

[1] 連続鑄造用鑄型内に溶鋼を注入しつつ、前記連続鑄造用鑄型を鑄造方

向に振動させながら前記溶鋼を引き抜いて、鋳片を製造する鋼の連続鋳造方法であって、連続鋳造用鋳型は、定常鋳込み状態のメニスカス位置より上方へ少なくとも20mmの位置から前記メニスカス位置より下方へ少なくとも50mm以上、多くとも200mm以下の位置までの鋳型銅板の内壁面に設けられた複数の凹溝を有し、前記複数の凹溝の内部には、前記鋳型銅板の熱伝導率に対して熱伝導率差の比率が20%以上である金属もしくは金属合金が充填された複数の異熱伝導金属充填部が設けられ、前記複数の異熱伝導金属充填部が設けられた前記内壁面の面積に対する全ての異熱伝導金属充填部の面積の総和の比である面積率が10%以上80%以下であり、オシレーション振動数（ $f$ ）と鋳造速度（ $V_c$ ）とで導かれるオシレーションマークピッチ（OMP）及び距離（ $D_1$ ）が下記（1）式を満足し、距離（ $D_2$ ）が下記（2）式を満足する、鋼の連続鋳造方法。

$$D_1 \leq OMP = V_c \times 1000 / f \cdots (1)$$

$$D_2 \leq 4r \cdots (2)$$

但し、（1）式において、 $V_c$ は、鋳造速度（ $m/min$ ）であり、 $f$ は、オシレーション振動数（ $cpm$ ）であり、OMPは、オシレーションマークピッチ（ $mm$ ）であり、 $D_1$ は、複数のうちの1の異熱伝導金属充填部の重心と、前記鋳型銅板の幅方向に同じ位置に設けられた他の異熱伝導金属充填部であって、前記1の異熱伝導金属充填部に鋳造方向で隣り合う他の異熱伝導金属充填部と前記鋳型銅板との境界線から、前記1の異熱伝導金属充填部と前記鋳型銅板との境界線までの距離（ $mm$ ）であり、（2）式において、 $r$ は、前記異熱伝導金属充填部の重心を中心とし、前記異熱伝導金属充填部の面積と同一の面積の円の半径（ $mm$ ）であり、 $D_2$ は、前記1の異熱伝導金属充填部の重心と鋳造方向に同じ位置に設けられた他の異熱伝導金属充填部であって、前記1の異熱伝導金属充填部に前記幅方向で隣り合う他の異熱伝導金属充填部の重心から、前記1の異熱伝導金属充填部の重心まで、の距離（ $mm$ ）である。

〔2〕前記複数の異熱伝導金属充填部は、前記距離（ $D_1$ ）が下記の（3）

式を満足するように設けられる、〔１〕に記載の鋼の連続鑄造方法。

$$D \leq 2r \cdots (3)$$

〔３〕前記複数の凹溝の形状は全て同じである、〔１〕または〔２〕に記載の鋼の連続鑄造方法。

〔４〕前記複数の凹溝の形状は円形または角のない擬似円形である、〔１〕から〔３〕の何れか１つに記載の鋼の連続鑄造方法。

〔５〕前記複数の異熱伝導金属充填部は格子状に設けられる、〔１〕から〔４〕の何れか１つに記載の鋼の連続鑄造方法。

〔６〕前記複数の異熱伝導金属充填部は千鳥状に設けられる、〔１〕から〔４〕の何れか１つに記載の鋼の連続鑄造方法。

〔７〕連続鑄造機に設けられた複数対の鑄片支持ロールのロール開度を鑄造方向下流側に向かって段階的に増加させることで、内部に未凝固部を有する鑄片の長辺面を鑄型出口での鑄片厚み（鑄片長辺面間の厚み）に対して 0 mm 超え 20 mm 以下の範囲の総バルジング量で拡大させ、その後、前記複数対の鑄片支持ロールのロール開度を鑄造方向下流側に向かって段階的に減少させた軽圧下帯で、前記鑄片の厚み中心部の固相率が少なくとも 0.2 の時点から 0.9 になる時点まで、圧下速度（mm/min）と鑄造速度（m/min）との積（mm・m/min<sup>2</sup>）が 0.30 以上 1.00 以下に相当する圧下力を前記鑄片の長辺面に付与し、前記圧下力によって前記総バルジング量と同等の総圧下量または前記総バルジング量よりも小さい総圧下量で前記鑄片の長辺面を圧下する、〔１〕から〔６〕の何れか１つに記載の鋼の連続鑄造方法。

〔８〕前記鑄型銅板の外壁面には、鑄造方向に沿った複数のスリットが前記鑄型銅板の幅方向に単数または複数のピッチで設けられ、前記複数のスリットが単数のピッチで設けられている場合は、前記単数のピッチを Z（mm）とし、前記複数のスリットが複数のピッチで設けられている場合は、前記複数のピッチのうち最も長いピッチを Z（mm）としたとき、前記 Z が下記（４）式を満足する、〔１〕から〔７〕の何れか１つに記載の鋼の連続鑄造方

法。

$$Z \geq 2.5 \times D^2 \cdots (4)$$

ここで、前記異熱伝導金属充填部の重心とは、鋳型銅板の溶鋼側平面における異熱伝導金属充填部の断面形状の重心をいう。

### 発明の効果

[0018] 本発明によれば、複数の異熱伝導金属充填部を、メニスカス位置を含んでメニスカス近傍の連続鋳造用鋳型の幅方向及び鋳造方向に設置するので、メニスカス近傍の鋳型幅方向及び鋳造方向における連続鋳造用鋳型の熱抵抗が周期的に増減する。これによって、メニスカス近傍、つまり、凝固初期での凝固シェルから連続鋳造用鋳型への熱流束が周期的に増減する。この熱流束の周期的な増減により、 $\delta$ 鉄から $\gamma$ 鉄への変態による応力や熱応力が低減し、これらの応力によって生じる凝固シェルの変形が小さくなる。凝固シェルの変形が小さくなることで、凝固シェルの変形に起因する不均一な熱流束分布が均一化され、且つ、発生する応力が分散されて個々の歪量が小さくなる。その結果、凝固シェル表面の割れを防止できる。

[0019] 本発明によれば、オシレーションマークの1ピッチの間に少なくとも1回は熱流束が増減する部分を存在させることができるので、オシレーションマークの深さを浅くし、凝固シェルの表面を均一化させることができる。これにより、表面とともに成長する凝固シェル内面も均一化されて最終凝固部での凝固界面が平滑になり、偏析を形成するスポットが減少し、スラブ鋳片の内部品質を改善できる。

### 図面の簡単な説明

[0020] [図1]図1は、本実施形態に係る鋼の連続鋳造方法を適用できる垂直曲げ型のスラブ連続鋳造機の側面概要図である。

[図2]図2は、ロール開度のプロファイルの一例を示す図である。

[図3]図3は、スラブ連続鋳造用機に設置される鋳型の一部を構成する鋳型長辺銅板の概略側面図である。

[図4]図4は、鋳型銅板よりも熱伝導率の低い金属が充填されて形成された異

熱伝導金属充填部を有する鋳型長辺銅板の三箇所における熱抵抗を、異熱伝導金属充填部の位置に対応して概念的に示す図である。

[図5]図5は、凹溝の平面形状の例を示す図である。

[図6]図6は、異熱伝導金属充填部が設けられた領域の部分拡大図である。

[図7]図7は、鋳型長辺銅板の外壁面側を示す概略図である。

[図8]図8は、鋳型長辺銅板の外壁面にバックアッププレートが設けられた状態の図7におけるD-D断面であり、さらにD-D断面の右側のボルト穴の一つにスタッドボルトが螺合した断面を重ねて示した断面模式図である。

[図9]図9は、異熱伝導金属充填部の配置の他の例を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0021] 本発明の具体的な実施方法を、図面を参照して説明する。図1は、本実施形態に係る鋼の連続鋳造方法を適用できる垂直曲げ型のスラブ連続鋳造機の側面概要図である。

[0022] スラブ連続鋳造機1には、溶鋼11を注入して凝固させ、鋳片12の外殻形状を形成させ、鋳片12の鋳造方向に振動する連続鋳造用鋳型5（以下、単に「鋳型」という）が設置されている。この鋳型5の上方所定位置には、取鍋（図示せず）から供給される溶鋼11を鋳型5に中継供給するためのタンディッシュ2が設置されている。鋳型5の下方には、サポートロール6、ガイドロール7及びピンチロール8からなる複数対の鋳片支持ロールが設置されている。このうち、ピンチロール8は、鋳片12を支持すると同時に鋳片12を引抜くための駆動ロールでもある。鋳造方向に隣り合う鋳片支持ロールの間隙には、水スプレーノズル或いはエアーミストスプレーノズルなどのスプレーノズル（図示せず）が配置された二次冷却帯が構成され、二次冷却帯のスプレーノズルから噴霧される冷却水（以下、「二次冷却水」ともいう）によって鋳片12は引抜かれながら冷却されて内部の未凝固部14が減少し、凝固シェル13が成長するようにして鋳造を行う。タンディッシュ2の底部には、溶鋼11の流量を調整するためのスライディングノズル3が設置され、このスライディングノズル3の下面には、浸漬ノズル4が設置され

ている。

[0023] 鋳片支持ロールの下流側には、鋳造された鋳片 1 2 を搬送するための複数の搬送ロール 9 が設置されており、この搬送ロール 9 の上方には、鋳造される鋳片 1 2 から所定の長さのスラブ鋳片 1 2 a を切断するための鋳片切断機 1 0 が配置されている。鋳片 1 2 の凝固完了位置 1 5 を挟んで鋳造方向の前後には、対向するガイドロール 7 のロール間隔を鋳造方向下流に向かって段階的に狭くなるように設定された、つまり、ロール勾配が施された、複数対のガイドロール群から構成される軽圧下帯 1 7 が設置されている。

[0024] 軽圧下帯 1 7 では、その全域または一部選択した領域で、鋳片 1 2 に軽圧下を行うことができる。本実施形態では、鋳片 1 2 の厚み中心部の固相率が少なくとも 0.2 から 0.9 になるまでの鋳片 1 2 が、軽圧下帯 1 7 の設置範囲内に入るように、軽圧下帯 1 7 が設置されている。

[0025] 軽圧下帯 1 7 における圧下勾配は、鋳造方向 1 m あたりのロール開度絞り込み量、つまり「mm/m」で表示されており、軽圧下帯 1 7 における鋳片 1 2 の圧下速度 (mm/min) は、この圧下勾配 (mm/m) と鋳造速度 (m/min) との積で求められる。軽圧下帯 1 7 を構成する各鋳片支持ロール間にも鋳片 1 2 を冷却するためのスプレーノズルが配置されている。図 1 には、軽圧下帯 1 7 にはガイドロール 7 だけが配置された例を示しているが、軽圧下帯 1 7 にピンチロール 8 を配置しても構わない。軽圧下帯 1 7 に配置される鋳片支持ロールは「圧下ロール」ともいう。

[0026] 鋳型 5 の下端から鋳片 1 2 の液相線クレータエンド位置との間に配置されるガイドロール 7 の開度は、鋳造方向下流側に向かってロール開度の拡大量が所定値となるまで、1 ロール毎または数ロール毎に順次ロール開度が広がっている。これらガイドロール 7 によって、内部に未凝固部 1 4 を有する鋳片 1 2 の長辺面を強制的にバルジングさせるための強制バルジング帯 1 6 が構成される。強制バルジング帯 1 6 の下流側の鋳片支持ロールは、ロール開度が一定値または鋳片 1 2 の温度降下に伴う収縮量に見合う程度に狭められ、その後、軽圧下帯 1 7 につながっている。

[0027] 図2は、ロール開度のプロファイルの一例を示す図である。図2に示すように、強制バルジング帯16で鋳片長辺面を溶鋼静圧によって強制的にバルジングさせて鋳片長辺面の中央部の厚みを増大させ（領域b）、強制バルジング帯16を通りすぎた下流側では、ロール開度が一定値または鋳片12の温度降下に伴う収縮量に見合う程度に狭められ（領域c）、その後、軽圧下帯17で鋳片長辺面を圧下する（領域d）というプロファイルにしている。図2中のa及びeは、ロール開度が鋳片12の温度降下に伴う収縮量に見合う程度に狭められる領域である。図2中のa'は、鋳片12の温度降下に伴う収縮量に見合う程度にロール開度を狭くした、軽圧下を実施しない鑄造方法（従来方法）におけるロール開度の例である。

[0028] 強制バルジング帯16では、ガイドロール7のロール開度を鑄造方向下流側に向かって順次広くすることにより、鋳片12の短辺近傍を除く長辺面は、未凝固部14による溶鋼静圧によってガイドロール7のロール開度に倣って強制的にバルジングさせられる。鋳片長辺面の短辺近傍は、凝固の完了した鋳片短辺面に固持されることから、強制的なバルジングを開始した時点の厚みを維持しており、したがって、鋳片12は、強制的なバルジングによって鋳片長辺面のバルジングした部分のみがガイドロール7に接触することになる。

[0029] 図3は、スラブ連続鑄造用機に設置される鑄型の一部を構成する鑄型長辺銅板の概略側面図である。図3に示す鑄型5は、スラブ鋳片を鑄造するための連続鑄造用鑄型の一例である。鑄型5は、一対の鑄型長辺銅板5a（以後、「鑄型銅板」ともいう）と一対の鑄型短辺銅板とを組み合わせで構成される。図3は、そのうちの鑄型長辺銅板5aを示している。鑄型短辺銅板も鑄型長辺銅板5aと同様に、その内壁面側に異熱伝導金属充填部19が設けられるとして、ここでは、鑄型短辺銅板についての説明は省略する。但し、鋳片12においては、スラブ厚みに対してスラブ幅が極めて大きいという形状に起因して、鋳片長辺面側の凝固シェル13で応力集中が起こりやすく、鋳片長辺面側で表面割れが発生しやすい。したがって、スラブ鋳片用の鑄型5

の鑄型短辺銅板には、異熱伝導金属充填部 19 を設けなくてもよい。

[0030] 図 3 に示すように、鑄型長辺銅板 5 a の定常鑄込み時のメニスカス位置 18 より少なくとも 20 mm 離れた上方の Q 位置から、メニスカス位置 18 より少なくとも 50 mm 以上、多くとも 200 mm 以下離れた下方の R 位置まで、の内壁面の範囲には、鑄型長辺銅板 5 a の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率が 20 % 以上である金属もしくは金属合金（以下、「異熱伝導金属」という）が充填された円形の異熱伝導金属充填部 19 が、鑄造方向に垂直となる鑄型幅方向の長さ W の範囲に千鳥状に設けられている。「メニスカス」とは「鑄型内容鋼湯面」を意味する。「定常鑄込み」とは、スラブ連続鑄造機 1 の鑄型 5 への溶鋼注入が開始された後、一定の鑄造速度を維持した巡航状態となった状態をいう。定常鑄込み時では、スライディングノズル 3 により鑄型 5 への溶鋼 11 の注入速度が自動制御され、メニスカス位置 18 が一定になるように制御される。

[0031] 異熱伝導金属充填部 19 は、鑄型銅板の内壁面側にそれぞれ独立して加工された円形凹溝の内部に、鑄型銅板を構成する銅合金の熱伝導率とは異なる熱伝導率の異熱伝導金属が充填されて形成されたものである。

[0032] 円形凹溝の内部に、鑄型銅板を構成する銅合金の熱伝導率とは異なる異熱伝導金属を充填する手段としては、鍍金処理または溶射処理を適用することが好ましい。円形凹溝の形状に合わせて加工した異熱伝導金属を円形凹溝に嵌め込むなどして充填してもよいが、その場合には、異熱伝導金属と鑄型銅板との間に隙間や割れが生じることがある。異熱伝導金属と鑄型銅板との間に隙間や割れが生じた場合には、異熱伝導金属の亀裂や剥離が生じ、鑄型寿命の低下、鑄片の割れ、更には拘束性ブレイクアウトの原因となるので好ましくない。異熱伝導金属を鍍金処理または溶射処理で充填することで、このような問題を未然に防止できる。

[0033] 本実施形態において、鑄型銅板として使用する銅合金としては、一般的に連続鑄造用鑄型として使用されるクロム（Cr）やジルコニウム（Zr）などを微量添加した銅合金を用いてよい。近年では、鑄型内の凝固の均一化ま

たは溶鋼中介在物の凝固シェルへの捕捉を防止するために、鋳型内の溶鋼を攪拌する電磁攪拌装置が設置されていることが一般的であり、電磁コイルから溶鋼への磁場強度の減衰を抑制するために導電率を低減した銅合金を用いてもよい。この場合、導電率の低下に応じて熱伝導率も低減するので、鋳型銅板の熱伝導率は、純銅（熱伝導率；約  $400\text{ W}/(\text{m}\times\text{K})$ ）の  $1/2$  前後になる。鋳型銅板として使用される銅合金は、一般的に、純銅よりも熱伝導率が低い。

[0034] 図4は、鋳型銅板よりも熱伝導率の低い金属が充填されて形成された異熱伝導金属充填部を有する鋳型長辺銅板の三箇所における熱抵抗を、異熱伝導金属充填部の位置に対応して概念的に示す図である。図4に示すように、異熱伝導金属充填部19の設置位置では熱抵抗が相対的に高くなる。

[0035] 複数の異熱伝導金属充填部19を、メニスカス位置18を含んでメニスカス近傍の連続鋳造用鋳型の幅方向及び鋳造方向に設けることで、図4に示すように、メニスカス近傍の鋳型幅方向及び鋳造方向における連続鋳造用鋳型の熱抵抗が周期的に増減する分布が形成される。これによって、メニスカス近傍、つまり、凝固初期での凝固シェルから連続鋳造用鋳型への熱流束が周期的に増減する分布が形成される。

[0036] 鋳型銅板よりも熱伝導率の高い金属を充填して異熱伝導金属充填部19を形成した場合には、図4とは異なり、異熱伝導金属充填部19の設置位置で熱抵抗が相対的に低くなるが、この場合も、上記と同様に、メニスカス近傍の鋳型幅方向及び鋳造方向における連続鋳造用鋳型の熱抵抗が周期的に増減する分布が形成される。上述したような熱抵抗の周期的な分布を形成させるには、異熱伝導金属充填部19どうしがそれぞれ独立していることが好ましい。

[0037] この熱流束の周期的な増減により、凝固シェル13の相変態（例えば、 $\delta$ 鉄から $\gamma$ 鉄への変態）による応力や熱応力が低減し、これらの応力によって生じる凝固シェル13の変形が小さくなる。凝固シェル13の変形が小さくなることで、凝固シェル13の変形に起因する不均一な熱流束分布が均一化

され、且つ、発生する応力が分散されて個々の歪量が小さくなる。その結果、凝固シェル表面における表面割れの発生が抑制される。

[0038] 凝固初期の熱流束の周期的な増減により、鋳型内における凝固シェル 13 の厚みが、鋳片の幅方向のみならず鋳造方向でも均一化される。鋳型内における凝固シェル 13 厚みが均一化することで、鋳型 5 から引き抜かれた後の鋳片 12 の凝固シェル 13 の凝固界面は、鋳片の最終凝固部においても鋳片の幅方向及び鋳造方向で平滑になる。

[0039] 但し、これらの効果を安定して得るためには、異熱伝導金属充填部 19 を設置したことによる熱流束の周期的な増減が適正でなければならない。つまり、熱流束の周期的な増減の差が小さすぎれば、異熱伝導金属充填部 19 を設置した効果が得られず、逆に、熱流束の周期的な増減の差が大きすぎれば、これに起因して発生する応力が大きくなり、この応力で表面割れが発生する。

[0040] 異熱伝導金属充填部 19 を設置したことによる熱流束の増減の差は、鋳型銅板と異熱伝導金属との熱伝導率差と、異熱伝導金属充填部 19 が配置された領域の鋳型銅板の内壁面の面積に対する全ての異熱伝導金属充填部 19 の面積の総和の比である面積率と、に依存する。

[0041] 本実施形態に係る鋼の連続鋳造方法で使用する鋳型銅板では、円形凹溝に充填する異熱伝導金属の熱伝導率を  $\lambda_m$  としたとき、鋳型銅板の熱伝導率 ( $\lambda_c$ ) に対する異熱伝導金属の熱伝導率 ( $\lambda_m$ ) の差の比率 ( $(|\lambda_c - \lambda_m| / \lambda_c) \times 100$ ) が 20% 以上である金属もしくは金属合金を使用する。鋳型銅板を構成する銅合金の熱伝導率 ( $\lambda_c$ ) に対する差の比率が 20% 以上である金属もしくは金属合金を使用することで、異熱伝導金属充填部 19 による熱流束の周期的な変動の効果が十分となり、鋳片表面割れの発生しやすい高速鋳造時や中炭素鋼の鋳造時においても、鋳片の表面割れ抑制効果が十分に得られる。鋳型銅板の熱伝導率および異熱伝導金属の熱伝導率は、常温 (約 20℃) の熱伝導率である。熱伝導率は、一般的に、高温になるほど小さくなるが、常温での鋳型銅板の熱伝導率に対する異熱伝導金属の熱伝導率の差

の比率が20%以上であれば、連続鑄造鑄型としての使用温度（200～350℃程度）であっても、異熱伝導金属充填部19を設置した部位の熱抵抗と、異熱伝導金属充填部19を設置していない部位の熱抵抗と、に差を生じさせることができる。

[0042] 本実施形態に係る鋼の連続鑄造方法で使用する鑄型銅板では、異熱伝導金属充填部19が形成された範囲内の鑄型銅板内壁面の面積 $A$ （ $A = (Q + R) \times W$ 、単位； $\text{mm}^2$ ）に対する、全ての異熱伝導金属充填部19の面積の総和 $B$ （ $\text{mm}^2$ ）の比である面積率 $\varepsilon$ （ $\varepsilon = (B / A) \times 100$ ）が10%以上80%以下になるように、異熱伝導金属充填部19を設けている。この面積率 $\varepsilon$ を10%以上とすることで、熱流束の異なる異熱伝導金属充填部19の占める面積が確保され、異熱伝導金属充填部19と鑄型銅板とで熱流束差が得られ、鑄片の表面割れ抑制効果を得ることができる。一方、面積率 $\varepsilon$ が80%を超えると、異熱伝導金属充填部19の部位が多くなりすぎて、熱流束の変動の周期が長くなるので、鑄片の表面割れ抑制効果が得られにくくなる。

[0043] このため、面積率 $\varepsilon$ が30%以上60%以下になるように異熱伝導金属充填部19を設けることがより好ましく、面積率 $\varepsilon$ が40%以上50%以下になるように異熱伝導金属充填部19を設けることがさらに好ましい。

[0044] 異熱伝導金属は、鑄型銅板の熱伝導率（ $\lambda_c$ ）に対する充填金属の熱伝導率（ $\lambda_m$ ）の差の比率が20%以上であれば、特に、その種類を特定しなくてよい。参考までに充填金属として使用可能な金属を挙げれば、純ニッケル（Ni、熱伝導率；90W／（m×K））、純クロム（Cr、熱伝導率；67W／（m×K））、純コバルト（Co、熱伝導率；70W／（m×K））、及び、これらの金属を含有する合金などが好適である。これらの純金属や合金は、銅合金よりも熱伝導率が低く、鍍金処理や溶射処理によって容易に円形凹溝に充填することができる。銅合金よりも熱伝導率が高い純銅を、円形凹溝に充填使用する金属として使用してもよい。例えば、純銅を充填金属として使用した場合には、異熱伝導金属充填部19を設置した部位の方が鑄型銅

板の部位よりも熱抵抗が小さくなる。

[0045] 図5は、凹溝の平面形状の例を示す図である。図3及び図4では、凹溝の形状が図5(a)に示すような円形である例を示したが、凹溝は円形でなくてもよい。例えば、凹溝は、図5(b)に示すような楕円であってもよく、図5(c)に示すような角部を円とした正方形または長方形であってもよく、図5(d)に示すようなドーナツ形であってもよい。図5(e)に示すような三角形であってもよく、図5(f)に示すような台形であってもよく、図5(g)に示すような五角形であってもよく、図5(h)に示すような金平糖形であってもよい。これら凹溝に、凹溝の形状に対応した形状の異熱伝導金属充填部が設置される。

[0046] 凹溝の形状は、図5(a)に示すような円形または(b)～(d)に示すような「角」を有していない形状であることが好ましいが、図5(e)～(h)に示すような「角」を有する形状であってもよい。凹溝の形状を「角」を有していない形状にすることで、異熱伝導金属と鋳型銅板との境界面が曲面になり、境界面で応力が集中しにくく、鋳型銅板表面に割れが発生しにくくなる。

[0047] 本実施形態においては、これらの凹溝の形状のうち、例えば、図5(b)～(h)に示す円形でない形状を擬似円形とする。凹溝の形状が擬似円形の場合には、鋳型銅板の内壁面に加工される凹溝を、「擬似円形凹溝」という。擬似円形における半径は、擬似円形の面積と同一の面積の円の半径である円相当半径  $r$  で評価する。擬似円形の円相当半径  $r$  は、下記の(5)式で算出される。

[0048] 円相当半径  $r = (S_{ma} / \pi)^{1/2} \cdots (5)$

但し、(5)式において、 $S_{ma}$ は擬似円形凹溝の面積( $\text{mm}^2$ )である。

[0049] 図6は、異熱伝導金属充填部が設けられた領域の部分拡大図である。図6に示すように、本実施形態の鋳型銅板においては、円形の異熱伝導金属充填部19が千鳥状に設けられている。ここで、千鳥状に設けるとは、異熱伝導金属充填部19の半ピッチの位置に交互に異熱伝導金属充填部19を設ける

ことを意味する。

[0050] 図6において、19aを1の異熱伝導金属充填部とし、19bを他の異熱伝導金属充填部とする。異熱伝導金属充填部19aと異熱伝導金属充填部19bとは、その重心が鋳型銅板の幅方向に同じ位置に設けられ、鋳造方向に互いに隣り合う位置に設けられている。ここで、異熱伝導金属充填部19の重心とは、鋳型銅板の溶鋼側平面における異熱伝導金属充填部19の断面形状の重心である。

[0051] 鋳造方向における異熱伝導金属充填部19aの鋳型銅板との境界線から異熱伝導金属充填部19bの鋳型銅板との境界線までの距離をD1(mm)とすると、異熱伝導金属充填部19は、距離D1が下記(1)式を満足するように鋳型銅板の内壁面に設けられている。

[0052]  $D1 \leq OMP = V_c \times 1000 / f \cdots (1)$

但し、(1)式において、 $V_c$ は、鋳造速度(m/min)、 $f$ は、オシレーション振動数(cpm)、OMPは、オシレーションマークピッチ(mm)である。

[0053] このように、鋳造方向における異熱伝導金属充填部19の鋳型銅板との境界線の間隔、すなわち、鋳造方向における異熱伝導金属充填部19どうしの間隔がオシレーションマークの鋳造方向におけるピッチよりも小さい間隔になるように、異熱伝導金属充填部19を鋳型銅板に設ける。これにより、オシレーションマークのピッチ1回分の間に少なくとも1回は、熱流束が増減する部分を存在させることができるので、オシレーションマークの形成時に生成する爪を意図的に短いピッチで緩冷却することで爪の変形に起因する不均一な熱流束が均一化され、個々の歪量が小さくなる。この結果、爪の倒れこみが抑制されてオシレーションマークの深さを浅くでき、鋳造方向の凝固シェル13の厚みを均一にできる。初期の凝固シェル13の厚みを均一にすることで、中心偏析を形成する最終凝固部での凝固界面が平滑化し、これにより、偏析を形成するスポットも減少するので内部品質が改善する。オシレーションマークの深さを浅くすることで、オシレーションマークを起点とし

た横割れも抑制できる。

[0054] 異熱伝導金属充填部 19 は、距離  $D_1$  が下記 (3) 式を満足するように鋳型長辺銅板 5 a の内壁面に設けられている。

[0055]  $D_1 \leq 2r \cdots (3)$

但し、(3) 式において、 $r$  は、異熱伝導金属充填部 19 の半径 (mm) または円相当半径 (mm) である。

[0056] このように、鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 の間隔が異熱伝導金属充填部 19 の半径または円相当半径の 2 倍以下になるように、異熱伝導金属充填部 19 を鋳型銅板に設ける。これにより、鋳造方向に満遍なく熱流束差を与えることができ、凝固初期での凝固シェルから連続鋳造用鋳型への熱流束を周期的に増減させることができ、個々の歪量を小さくできる。

[0057] 図 6 において、19 a を 1 の異熱伝導金属充填部とし、19 c を他の異熱伝導金属充填部とする。異熱伝導金属充填部 19 a と異熱伝導金属充填部 19 c とは、その重心が鋳造方向に対して同じ位置に設けられ、鋳型銅板の幅方向に互いに隣り合う位置に設けられている。ここで、異熱伝導金属充填部 19 a の重心から異熱伝導金属充填部 19 c の重心までの距離を  $D_2$  (mm) とすると、異熱伝導金属充填部 19 は、距離  $D_2$  が、下記 (2) 式を満足するように、鋳型長辺銅板 5 a の内壁面に設けられている。

[0058]  $D_2 \leq 4r \cdots (2)$

但し、(2) 式において、 $r$  は、異熱伝導金属充填部 19 の半径 (mm) または円相当半径 (mm) である。

[0059] このように、異熱伝導金属充填部 19 a の重心から異熱伝導金属充填部 19 c の重心までの距離が、異熱伝導金属充填部 19 の半径の 4 倍以下になるように異熱伝導金属充填部 19 を鋳型銅板に設ける。これにより、異熱伝導金属充填部 19 によって形成される熱流束が増減する部分を不均一に凝固する凝固シェル先端部の凝固揺らぎの空間周期よりも短いピッチで存在させることができ、凝固初期における凝固シェル 13 の変形を小さくさせ、個々の歪み量も小さくなり、凝固シェル表面の割れを抑制できる。

[0060] 図7は、鋳型長辺銅板の外壁面側を示す概略図である。図8は、鋳型長辺銅板の外壁面にバックアッププレートが設けられた状態の図7におけるD-D断面であり、さらにD-D断面の右側のボルト穴の一つにスタッドボルトが螺合した断面を重ねて示した断面模式図である。鋳型長辺銅板5aの外壁面には、冷却水44が通るスリット30と、バックアッププレート40を固定するスタッドボルト42と螺合するボルト穴32が複数設けられている。スリット30は、鋳造方向に沿って鋳型長辺銅板5aの幅方向に、ボルト穴32を避けて複数のピッチで設けられている。図7に示した例では、ボルト穴32を避けた位置では、スリット30は $L_2$ のピッチで設けられ、それ以外の位置では、スリット30は $L_1$ のピッチで設けられている。ここで、 $L_2 > L_1$ であり、図7に示した例では、スリット30の最も長いピッチは $L_2$ である。

[0061] バックアッププレート40は、スタッドボルト42によって鋳型長辺銅板5aの外壁面に固定される。冷却水44は、バックアッププレート40の下方から供給され、スリット30を通り、バックアッププレート40の上方から排出される。このように、鋳型長辺銅板5aのスリット30を冷却水44が通ることで、冷却水44により鋳型長辺銅板5aが冷却される。

[0062] スリット30が設けられている部分は、異熱伝導金属充填部19ほどではないものの鋳型幅方向に周期的な熱流束の変動を生じさせる。スリット30が設けられた空間周期と、異熱伝導金属充填部19の幅方向の距離 $D_2$ が近くなると、両者の周期的な熱流束の周期的な変動にいわゆる「唸り」（以下、「ビート」という）が生じる。ビートが生じると、異熱伝導金属充填部19による熱流束の周期的な変動が崩れることが懸念される。

[0063] スリット30は、ボルト穴32を避けた $L_2$ のピッチで設けられる領域の熱流束の大きさと、他の領域の熱流束の大きさが同じになるように $L_1$ のピッチ、および、スリット30の深さが調整される。このため、スリット30の最も長いピッチを $Z$ とすると、 $Z$ を基準として異熱伝導金属充填部19の幅方向の距離 $D_2$ が、下記（4）式を満足するように異熱伝導金属充填部

19を設けることが好ましい。

[0064]  $Z \geq 2.5 \times D2 \cdots (4)$

但し、(4)式において、Zは、鋳型長辺銅板5aの幅方向におけるスリット30の最も長いピッチ(mm)である。

[0065] これにより、スリット30が設けられた空間周期と、異熱伝導金属充填部19の幅方向の距離D2とが近づくことが抑制され、異熱伝導金属充填部19による熱流束の周期的な変動が崩れることを抑制できる。

[0066] 図7に示した例では、鋳型長辺銅板5aの外壁面に複数のピッチでスリット30が設けた例を示したが、これに限られない。スリット30は、鋳型長辺銅板5aの外壁面に単数のピッチで設けられてもよい。スリット30が単数のピッチで設けられている場合は、単数のピッチをZ(mm)とする。

[0067] 図9は、異熱伝導金属充填部の配置の他の例を示す図である。図9においては、円形の異熱伝導金属充填部20が、格子状に鋳型銅板の内壁面に設けられている。ここで、異熱伝導金属充填部20を格子状に設けるとは、鋳造方向の幅が一定であって鋳型幅方向に平行な平行線群と、鋳型幅方向の幅が一定であって鋳造方向に平行な平行線群の交点となる位置に異熱伝導金属充填部20を設けることを意味する。

[0068] 図9において、20aを1の異熱伝導金属充填部とし、20b、20cを他の異熱伝導金属充填部とする。異熱伝導金属充填部20aと異熱伝導金属充填部20bとは、その重心が鋳型銅板の幅方向に対して同じ位置に設けられ、鋳造方向に互いに隣り合った位置に設けられている。異熱伝導金属充填部20aと異熱伝導金属充填部20cとは、その重心が鋳造方向に対して同じ位置に設けられ、鋳型銅板の幅方向に互いに隣り合った位置に設けられている。

[0069] 図9において、距離D1は、鋳造方向に沿った距離であって、異熱伝導金属充填部20aと鋳型銅板との境界線から、異熱伝導金属充填部20bと鋳型銅板との境界線までの距離であり、距離D2は、異熱伝導金属充填部20aの重心から異熱伝導金属充填部20cの重心までの距離である。図9にお

いて、異熱伝導金属充填部 20 は、上記 (1) 式、(2) 式および (3) 式を満足するように、鋳型長辺銅板 5 a の内壁面に設けられる。

[0070] このように、異熱伝導金属充填部を鋳型銅板に格子状に設けてもよく、格子状に異熱伝導金属充填部を設けた場合においても、上記 (1) 式を満足することで、爪の倒れこみが抑制されてオシレーションマークの深さを浅くでき、異熱伝導金属充填部を千鳥状に設けた場合と同様の効果が得られる。

[0071] 本実施形態では、鋳型銅板に設けられた凹溝の形状が全て同じ円形である例を示したが、これに限られない。少なくとも上述した面積率が 10% 以上 80% 以下であって (1) 式、(2) 式を満足すれば、凹溝の形状は全て同じでなくてもよい。

[0072] 異熱伝導金属充填部 19 が設けられた鋳型と、意図的に鋳片を 0 mm 超え 20 mm 以下バルジングさせ、さらに中心部の固相率が 0.2 以上 0.9 以下の鋳片を、圧下速度 (mm/min) と鋳造速度 (m/min) の積 (mm<sup>2</sup>/min) が 0.30 以上 1.00 以下に相当する圧下力で、意図的にバルジングさせたときの鋳片の膨らみ量と同等かそれよりも小さい量を軽圧下する方法と、を組み合わせると、さらに鋳片の内部品質を改善することができる。

[0073] 本実施形態では、強制バルジング帯 16 の強制的なバルジングの総量（以後、「総バルジング量」という）を、鋳型出口での鋳片厚み（鋳片長辺面間の厚み）に対して 0 mm 超え 20 mm 以下の範囲としている。本実施形態では、鋳型内における初期凝固を制御し、鋳片 12 の最終凝固部においても凝固界面が鋳片の幅方向及び鋳造方向で平滑にできるので、軽圧下による圧下力が凝固界面に均等に作用し、これにより、総バルジング量が 0 mm 超え 20 mm 以下であっても、中心偏析を軽減できる。

[0074] 軽圧下帯 17 では、少なくとも鋳片の厚み中心部の固相率が 0.2 の時点から 0.9 になる時点まで、鋳片 12 を圧下している。中心部の固相率が 0.2 未満の時期での圧下では、圧下直後の圧下位置での鋳片の未凝固部の厚みが厚いため、その後の凝固の進行とともに、再び中心偏析が発生する。中

心部の固相率が0.9を超える時期に圧下する場合には、偏析成分の濃化した溶鋼が排出されにくく、中心偏析の改善効果が少なくなる。圧下時の鋳片の凝固シェル13の厚みが厚く、圧下力が十分厚み中心部にまで達しないためである。さらに、中心部固相率が0.9を超え、圧下量が大きい場合には、前述するように、厚み中心部近傍に正偏析が発生する。したがって、中心部固相率が0.2以上0.9以下の鋳片の位置を圧下する。当然ではあるが、鋳片厚み中心部の固相率が0.2になる以前、及び、鋳片厚み中心部の固相率が0.9を超えた以降も、軽圧下帯17で鋳片12を圧下してもよい。

[0075] 鋳片厚み中心部の固相率は、二次元伝熱凝固計算によって求めることができる。ここで、固相率とは、鋼の液相線温度以上で固相率=0、鋼の固相線温度以下で固相率=1.0と定義されるものであり、鋳片厚み中心部の固相率が1.0となる位置が凝固完了位置15であり、当該凝固完了位置15は、鋳片が下流側へ移動しながら鋳片厚み中心部の固相率が1となる最も下流側の位置に該当する。

[0076] 本実施形態において、軽圧下帯17における鋳片12の圧下量の総量（以後、「総圧下量」という）を、総バルジング量と同等または総バルジング量よりも小さくしている。総圧下量を総バルジング量と同等または総バルジング量よりも小さくすることで、鋳片12の短辺側の厚み中心部までの凝固が完了した部分は圧下されず、軽圧下帯17を構成するガイドロール7の負荷荷重が軽減され、ガイドロール7のベアリング破損や折損などの設備トラブルを抑制できる。

[0077] 本実施形態では、軽圧下帯17で軽圧下する際の圧下速度と鋳造速度との積（ $\text{mm} \cdot \text{m} / \text{min}^2$ ）が0.30以上1.00以下に相当する圧下力を鋳片の長辺面に付与している。0.30よりも小さな圧下量による圧下では、圧下後の圧下位置での鋳片の未凝固部の厚みが厚く、偏析成分の濃化した溶鋼がデンドライト樹間から十分排出されないので、圧下後に再び中心偏析が発生する。1.00を超える圧下量を圧下する場合には、デンドライト樹間に存在する偏析成分の濃化した溶鋼のほとんど全てが、絞り出されて鋳造方

向の上流側に排出されるが、未凝固部の厚みが薄いために、圧下位置より鋳造方向のやや上流側の鋳片の厚み方向の両側の凝固殻に捕捉され、これにより、鋳片の厚み中心部近傍に正偏析が発生する。

[0078] 鋳片の中心部の中心偏析および中心部近傍の正偏析の発生防止に対する軽圧下の効果には、鋳片の凝固組織の影響もあり、未凝固部に接する部分の凝固組織が等軸晶の場合には、等軸晶間にセミマクロ偏析の原因となる濃化溶鋼が存在し、圧下による効果が少ない。したがって、凝固組織を等軸晶ではなく、柱状晶組織とすることが望ましい。

[0079] 本実施形態では、連続鋳造操業の種々の鋳造条件において、予め二次元伝熱凝固計算などを用いて凝固シェル13の厚み及び鋳片厚み中心部の固相率を求め、少なくとも、鋳片厚み中心部の固相率が0.2の時点から0.9になる時点まで、軽圧下帯14で鋳片10を圧下できるように、二次冷却水量、二次冷却の幅切り、鋳造速度のうちのいずれか1種または2種以上を調整する。ここで、「二次冷却の幅切り」とは、鋳片長辺面の両端部への冷却水の噴射を中止することである。二次冷却の幅切りを実施することで、二次冷却は弱冷化され、一般的に、凝固完了位置13は鋳造方向下流側に延長される。

[0080] 以上説明したように、本実施形態に係る鋼の連続鋳造方法を実施することで、凝固初期の凝固シェルの不均一冷却による鋳片の表面割れを防止することができると同時に、オシレーションマークの深さも浅くすることができる。オシレーションマークを浅くして初期の凝固シェル13の表面を均一にすることで最終凝固部での凝固界面も平滑化され、さらに意図的なバルジング及び軽圧下することで、当該圧下力を凝固界面に均等に作用させることができ、鋳片の厚み中心部に発生する中心偏析を抑制することができる。これにより、高品質の鋳片を安定して製造することが実現される。

[0081] 上記説明はスラブ鋳片の連続鋳造に関して行ったが、本実施形態に係る鋼の連続鋳造方法はスラブ鋳片の連続鋳造に限定されるものではなく、ブルーム鋳片やビレット鋳片の連続鋳造においても上記に沿って適用することがで

きる。

## 実施例 1

- [0082] 中炭素鋼（化学成分、C：0.08～0.17質量%、Si：0.10～0.30質量%、Mn：0.50～1.20質量%、P：0.010～0.030質量%、S：0.005～0.015質量%、Al：0.020～0.040質量%）を、内壁面に種々の条件で金属を配置した水冷銅鑄型を用い、且つ、強制バルジング帯における総バルジング量及び軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積を種々変更して鑄造し、鑄造後の鑄片の表面割れおよび内部品質（中心偏析）を調査する試験を行った。
- [0083] 軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積は、0.28～0.90 mm・m/min<sup>2</sup>であり、いずれの試験も、軽圧下帯では、鑄片の厚み中心部の固相率が少なくとも0.2の時点から0.9になる時点まで鑄片を圧下した。鑄片を強制バルジング帯で強制的にバルジングさせた場合の総圧下量は、総バルジング量と同等または総バルジング量よりも小さくした。鑄片を強制バルジング帯でバルジングさせない試験では、軽圧下帯では鑄片短辺側の凝固完了位置も圧下した。
- [0084] 使用した鑄型は、長辺長さが2.1 m、短辺長さが0.26 mの内面空間サイズを有する鑄型である。使用した水冷銅鑄型の上端から下端までの長さ（＝鑄型長）は950 mmであり、定常鑄造時のメニスカス（鑄型内容鋼湯面）の位置を、鑄型上端から100 mm下方位置に設定した。本実施形態に係る鋼の連続鑄造方法の効果を把握するために以下の条件の鑄型を作成し比較試験を行なった。いずれの鑄型も異熱伝導金属として、鑄型銅板の熱伝導率よりも熱伝導率が低い金属を使用した。異熱伝導金属充填部19の形状はφ6 mmの円形状である。当該鑄造条件において、オシレーションマークピッチは13 mmであった。
- [0085] 鑄型1：鑄型上端より80 mm下方の位置から鑄型上端より300 mm下方の位置までの範囲（範囲長さ＝220 mm）に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を20%とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱

伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離 D1 は 6 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離 D2 は 12 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0086] 鋳型 2 : 鋳型上端より 190 mm 下方の位置から鋳型上端より 750 mm 下方の位置までの範囲（範囲長さ = 670 mm）に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離 D1 は 6 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離 D2 は 12 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0087] 鋳型 3 : 鋳型上端より 80 mm 下方の位置から鋳型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離 D1 は 15 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離 D2 は 12 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0088] 鋳型 4 : 鋳型上端より 80 mm 下方の位置から鋳型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離 D1 は 6 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離 D2 は 15 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 38.0 mm である。

。

[0089] 鋳型 5 : 鋳型上端より 80 mm 下方の位置から鋳型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 15 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離  $D_1$  は 6 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離  $D_2$  は 12 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

。

[0090] 鋳型 6 : 鋳型上端より 80 mm 下方の位置から鋳型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属 19 を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 5 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離  $D_1$  は 6 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離  $D_2$  は 12 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0091] 鋳型 7 : 鋳型上端より 80 mm 下方の位置から鋳型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 85 % である。鋳造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離  $D_1$  は 6 mm であり、鋳型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの重心間の距離  $D_2$  は 12 mm である。鋳型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0092] 鋳型 8 : 鋳型上端より 80 mm 下方の位置から鋳型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を格子状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置

した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鑄造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離  $D_1$  は 6 mm であり、鑄型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの重心間の距離  $D_2$  は 12 mm である。鑄型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0093] 鑄型 9 : 鑄型上端より 80 mm 下方の位置から鑄型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鑄造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離  $D_1$  は 9 mm であり、鑄型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離  $D_2$  は 12 mm である。鑄型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 33.0 mm である。

[0094] 鑄型 10 : 鑄型上端より 80 mm 下方の位置から鑄型上端より 300 mm 下方の位置までの範囲に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 20 % とする異熱伝導金属を千鳥状に充填して、異熱伝導金属充填部 19 を設置した。異熱伝導金属充填部 19 の面積率  $\varepsilon$  は 50 % である。鑄造方向における異熱伝導金属充填部 19 どうしの距離  $D_1$  は 9 mm であり、鑄型幅方向における異熱伝導金属充填部 19 の重心間の距離  $D_2$  は 12 mm である。鑄型の外壁面に設けられたスリット 30 の最も長いピッチは 16.5 mm である。

[0095] 鑄型 11 : 異熱伝導金属充填部 19 を設けていない鑄型である。

[0096] 連続鑄造操業においては、モールドパウダーとして、塩基度（（質量%  $\text{CaO}$ ）／（質量%  $\text{SiO}_2$ ））が 1.1、凝固温度が 1090℃、1300℃における粘性率が 0.15 Pa·s のモールドパウダーを使用した。凝固温度とは、溶融モールドパウダーの冷却途上で、モールドパウダーの粘性率が急激な増加を示す温度である。定常鑄造時での鑄型内のメニスカス位置は、鑄型上端から 100 mm 下方位置であり、鑄造中、メニスカスが設置範囲内に存在するようにメニスカス位置を制御した。定常鑄造時の鑄造速度は 1.

7 ～ 2.2 m/min であり、鋳片の表面割れ及び内質を調査する鋳片は、全ての試験で、定常鋳造時の鋳造速度が 2.0 m/min の鋳片を対象とした。タンディッシュ内の溶鋼過熱度は 25 ～ 35℃ である。鋳型の温度管理として、熱電対を鋳型のメニスカス下 50 mm の位置に表面（溶鋼側の面）から 5 mm の深さ位置に背面から埋め込み、熱電対による銅板温度の測定値から鋳型の表面温度を推定した。

[0097] 連続鋳造が終了した後、鋳片長辺の表面を酸洗してスケールを除去し、表面割れの発生数を測定した。鋳片表面割れの発生状況は、検査対象の鋳片の鋳造方向長さを分母とし、表面割れが発生した部位の鋳片の鋳造方向長さを分子として算出した値を用いて評価した。鋳片内質（中心偏析）の評価については、鋳片の横断面サンプルを採取し、横断面サンプルの鏡面研磨面の鋳片中心部分 ± 10 mm の範囲で、EPMA により Mn 濃度を 100 μm 毎に測定し、偏析度を評価した。具体的には、偏析が生じていないであろう端部の Mn 濃度 ( $C_0$ ) と中心部分 ± 10 mm における Mn 濃度の平均値 ( $C$ ) との比 ( $C/C_0$ ) を Mn 偏析度と定義して評価した。

[0098] これらの検討とは別に、各試験水準での条件で、凝固シェル厚みの不均一度  $\sigma$  (mm) の測定を行なった。凝固シェル厚みの不均一度の測定は、鋳型内溶鋼に FeS（硫化鉄）粉を投入し、得られた鋳片の断面からサルファプリントをとることで凝固シェル厚みを測定した。凝固シェル厚みの測定は、鋳型の幅方向 1/4 の位置でメニスカス位置から 200 mm 下方の位置まで、5 mm ピッチで 40 点行なった。 $\sigma$  の算出は、下記（6）式に従い算出した。

[0099] [数1]

$$\sigma = \frac{\sum \sqrt{(D - D_i)^2}}{N} \dots (6)$$

[0100] 但し、（6）式において、 $D$  は、凝固シェル厚みの実測値 (mm) であり

、 $D_i$  は、凝固シェル厚と凝固時間との関係を規定した近似式を用いて、凝固シェル厚みを測定した位置のメニスカスからの距離に対応する凝固時間を用いて算出された凝固シェル厚みの計算値（mm）である。Nは、測定数であり、本実施例においては40である。

[0101] 表1に、試験水準1～14の各試験の試験条件及び鋳片の表面および内部の品質の調査結果を示す。

[0102]

[表1]

| 試験<br>水準 | 鋳型<br>タイプ | 鋳片サイズ<br>(厚×巾) | 鋳造速度<br>(m/min) | 鋳型上端からの距離(mm) |            | OSCビッチ<br>オンレーション<br>マークビッチ<br>(mm) | 鋳造方向<br>D1<br>(mm) | 鋳造方向<br>D2<br>(mm) | 表面鍍金<br>面積率E<br>(%) | 鋳型材質と<br>表面鍍金の<br>熱伝導率差の<br>比率 (%) | 軽圧下条件              |                                           | 品質評価              |                             | 凝固シェル<br>厚みの<br>不均一度<br>σ (mm) | もっとも長い<br>スリットビッチ<br>Z (mm) | 備考  |
|----------|-----------|----------------|-----------------|---------------|------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----|
|          |           |                |                 | 穴明け<br>位置     | 鍍金開始<br>位置 | 鍍金終了<br>位置                          |                    |                    |                     |                                    | 高図的<br>バグ量<br>(mm) | 圧下速度<br>×鋳造速度<br>(mm・m/min <sup>2</sup> ) | 表面割れ<br>比率<br>(%) | 中心偏析<br>(C/C <sub>0</sub> ) |                                |                             |     |
| 1        | 1         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 0.0                         | 堅微<br>1.04                     | 33.0                        | 発明例 |
| 2        | 2         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 190        | 750                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 25.0                        | 不適<br>1.08                     | 33.0                        | 比較例 |
| 3        | 3         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 15                 | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 2.5                         | 不適<br>1.07                     | 33.0                        | 比較例 |
| 4        | 4         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 15                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 16.0                        | 堅微<br>1.03                     | 38.0                        | 比較例 |
| 5        | 5         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 15                 | 0                                         | 0.28              | 13.0                        | 堅微<br>1.04                     | 33.0                        | 比較例 |
| 6        | 6         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 5                                  | 20                 | 0                                         | 0.28              | 18.0                        | 堅微<br>1.05                     | 33.0                        | 比較例 |
| 7        | 7         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 85                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 12.0                        | 堅微<br>1.04                     | 33.0                        | 比較例 |
| 8        | 1         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 3                                         | 0.90              | 0.0                         | 良好<br>1.01                     | 33.0                        | 発明例 |
| 9        | 1         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 2                                         | 0.90              | 0.0                         | 良好<br>1.02                     | 33.0                        | 発明例 |
| 10       | 1         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.90              | 0.0                         | 良好<br>1.02                     | 33.0                        | 発明例 |
| 11       | 1         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 20                                        | 0.30              | 0.0                         | 良好<br>1.01                     | 33.0                        | 発明例 |
| 12       | 3         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 15                 | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.50              | 0.0                         | 堅微<br>1.03                     | 33.0                        | 比較例 |
| 13       | 8         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 6                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 3                                         | 0.90              | 1.0                         | 堅微<br>1.03                     | 33.0                        | 発明例 |
| 14       | 9         | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 9                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 1.8                         | 堅微<br>1.05                     | 33.0                        | 発明例 |
| 15       | 10        | 250×2100       | 2.0             | 100           | 80         | 300                                 | 13                 | 9                  | 12                  | 50                                 | 20                 | 0                                         | 0.28              | 1.5                         | 堅微<br>1.04                     | 16.5                        | 発明例 |
| 16       | 11        | 250×2100       | 2.0             | —             | —          | —                                   | 13                 | —                  | —                   | —                                  | —                  | 3                                         | 0.90              | 30.0                        | 堅微<br>1.05                     | 33.0                        | 比較例 |

- [0103] 試験水準 1、8、9、10、11、13 は、鋳型表面の異熱伝導金属充填部 19 の設置条件が本発明の範囲内であり、スリット 30 の最も長いピッチは (4) 式を満足する。これらの試験水準は、いずれも表面割れ比率は大幅に改善された。凝固シェル厚みの不均一度も 0.30 以下になり、凝固シェルの厚みを均一にできた。しかし、試験水準 1 については、圧下速度と鋳造速度との積が 0.30 以上 1.00 以下の範囲内でないので、軽微であるが中心偏析が確認された。その他の水準については、中心偏析も改善される結果となった。
- [0104] 試験水準 2 では、異熱伝導金属充填部 19 を設置した範囲が下方にずれたものであり、かつ、圧下速度と鋳造速度との積が 0.30 以上 1.00 以下の範囲内ではない。このため、試験水準 2 では、鋳片に微細な表面割れが発生し、従来と比較して表面割れの低減効果は確認できなかった。凝固シェル厚みの不均一度も 0.38 mm と大きくなり、中心偏析についても改善効果を確認できなかった。
- [0105] 試験水準 3 では、鋳造方向における距離 D1 が長く、かつ、圧下速度と鋳造速度との積が 0.30 以上 1.00 以下の範囲内ではない。試験水準 3 では、鋳片の表面割れは改善したが、凝固シェル厚みの不均一度が 0.37 mm と大きくなり、中心偏析についても改善効果を確認できなかった。
- [0106] 試験水準 4 では、鋳型幅方向における距離 D2 が長く、かつ、圧下速度と鋳造速度との積が 0.30 以上 1.00 以下の範囲内ではない。試験水準 4 では、鋳片の表面割れが確認され、表面割れの改善効果は確認されなかった。凝固シェル厚みの不均一度も 0.31 mm と若干大きくなり、中心偏析についても軽微ながら確認された。
- [0107] 試験水準 5 は、異熱伝導金属の熱伝導率の差の比率が 20% より低く、試験水準 6 は、異熱伝導金属充填部 19 の面積率が 10% よりも低く、試験水準 7 は、異熱伝導金属充填部 19 の面積率が 80% よりも高い。このため、これら試験水準 5～7 では、鋳片の表面割れが確認され、表面割れの改善効果は確認されなかった。凝固シェル厚みの不均一度も 0.31～0.33 と

若干大きくなり、中心偏析についても軽微ながら確認された。

[0108] 試験水準 12 は、圧下速度と鋳造速度との積が 0.30 以上 1.00 以下の範囲内であるが、鋳造方向における距離 D1 が長い。試験水準 12 では、鋳片の表面割れおよび中心偏析は改善したが、凝固シェル厚みの不均一度が 0.37 mm と大きくなった。

[0109] 試験水準 14 は、鋳型表面の異熱伝導金属充填部 19 の設置条件が本発明の範囲内であり、スリット 30 の最も長いピッチ Z は (4) 式を満足する。しかし、鋳造方向における距離 D1 が長く (1) 式は満足するものの (3) 式を満足しない。このため、表面割れ比率は試験水準 2～7 より良化したものの 1.8% と若干大きくなり、軽微な中心偏析が確認され、凝固シェル厚みの不均一度も 0.31 mm と若干大きくなった。

[0110] 試験水準 15 は、鋳型表面の異熱伝導金属充填部 19 の設置条件が本発明の範囲内であるが、スリット 30 の最も長いピッチ Z は (4) 式を満足しない。また、鋳造方向における距離 D1 が長く (1) 式は満足するものの (3) 式を満足しない。このため、表面割れ比率は試験水準 2～7 より良化したものの 1.5% と若干大きくなり、軽微な中心偏析が確認され、凝固シェル厚みの不均一度も 0.33 mm と若干大きくなった。

[0111] 試験水準 16 は、異熱伝導金属充填部 19 を設けていないので、鋳片の表面割れが確認された。凝固シェル厚みの不均一度も 0.32 mm と若干大きくなり、中心偏析も確認された。

## 符号の説明

- [0112]
- |     |            |
|-----|------------|
| 1   | スラブ連続鋳造機   |
| 2   | タンディッシュ    |
| 3   | スライディングノズル |
| 4   | 浸漬ノズル      |
| 5   | 連続鋳造用鋳型    |
| 5 a | 鋳型長辺銅板     |
| 6   | サポートロール    |

- 7        ガイドロール
- 8        ピンチロール
- 9        搬送ロール
- 10      鋳片切断機
- 11      溶鋼
- 12      鋳片
- 12 a    スラブ鋳片
- 13      凝固シェル
- 14      未凝固部
- 15      凝固完了位置
- 16      強制バルジング帯
- 17      軽圧下帯
- 18      メニスカス位置
- 19      異熱伝導金属充填部
- 19 a    1の異熱伝導金属充填部
- 19 b    他の異熱伝導金属充填部
- 19 c    他の異熱伝導金属充填部
- 20      異熱伝導金属充填部
- 20 a    1の異熱伝導金属充填部
- 20 b    他の異熱伝導金属充填部
- 20 c    他の異熱伝導金属充填部
- 30      スリット
- 32      ボルト穴
- 40      バックアッププレート
- 42      スタッドボルト
- 44      冷却水

## 請求の範囲

[請求項1] 連続鑄造用鑄型内に溶鋼を注入しつつ、前記連続鑄造用鑄型を鑄造方向に振動させながら前記溶鋼を引き抜いて、鑄片を製造する鋼の連続鑄造方法であって、

連続鑄造用鑄型は、定常鑄込み状態のメニスカス位置より上方へ少なくとも20mmの位置から前記メニスカス位置より下方へ少なくとも50mm以上、多くとも200mm以下の位置までの鑄型銅板の内壁面に設けられた複数の凹溝を有し、

前記複数の凹溝の内部には、前記鑄型銅板の熱伝導率に対して熱伝導率差の比率が20%以上である金属もしくは金属合金が充填された複数の異熱伝導金属充填部が設けられ、前記複数の異熱伝導金属充填部が設けられた前記内壁面の面積に対する全ての異熱伝導金属充填部の面積の総和の比である面積率が10%以上80%以下であり、

オシレーション振動数（ $f$ ）と鑄造速度（ $V_c$ ）とで導かれるオシレーションマークピッチ（OMP）及び距離（ $D_1$ ）が下記（1）式を満足し、距離（ $D_2$ ）が下記（2）式を満足する、鋼の連続鑄造方法。

$$D_1 \leq OMP = V_c \times 1000 / f \cdots (1)$$

$$D_2 \leq 4r \cdots (2)$$

但し、（1）式において、

$V_c$ は、鑄造速度（m/min）であり、

$f$ は、オシレーション振動数（cpm）であり、

OMPは、オシレーションマークピッチ（mm）であり、

$D_1$ は、複数のうちの1の異熱伝導金属充填部の重心と、前記鑄型銅板の幅方向に同じ位置に設けられた他の異熱伝導金属充填部であって、前記1の異熱伝導金属充填部に鑄造方向で隣り合う他の異熱伝導金属充填部と前記鑄型銅板との境界線から、前記1の異熱伝導金属充填部と前記鑄型銅板との境界線までの距離（mm）であり、

(2) 式において、

$r$  は、前記異熱伝導金属充填部の重心を中心とし、前記異熱伝導金属充填部の面積と同一の面積の円の半径 (mm) であり、

$D_2$  は、前記 1 の異熱伝導金属充填部の重心と鋳造方向に同じ位置に設けられた他の異熱伝導金属充填部であって、前記 1 の異熱伝導金属充填部に前記幅方向で隣り合う他の異熱伝導金属充填部の重心から、前記 1 の異熱伝導金属充填部の重心まで、の距離 (mm) である。

[請求項2] 前記複数の異熱伝導金属充填部は、前記距離 ( $D_1$ ) が下記の (3) 式を満足するように設けられる、請求項 1 に記載の鋼の連続鋳造方法。

$$D_1 \leq 2r \cdots (3)$$

[請求項3] 前記複数の凹溝の形状は全て同じである、請求項 1 または請求項 2 に記載の鋼の連続鋳造方法。

[請求項4] 前記複数の凹溝の形状は円形または角のない擬似円形である、請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載の鋼の連続鋳造方法。

[請求項5] 前記複数の異熱伝導金属充填部は格子状に設けられる、請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の鋼の連続鋳造方法。

[請求項6] 前記複数の異熱伝導金属充填部は千鳥状に設けられる、請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の鋼の連続鋳造方法。

[請求項7] 連続鋳造機に設けられた複数対の鋳片支持ロールのロール開度を鋳造方向下流側に向かって段階的に増加させることで、内部に未凝固部を有する鋳片の長辺面を鋳型出口での鋳片厚み (鋳片長辺面間の厚み) に対して 0 mm 超え 20 mm 以下の範囲の総バルジング量で拡大させ、

その後、前記複数対の鋳片支持ロールのロール開度を鋳造方向下流側に向かって段階的に減少させた軽圧下帯で、前記鋳片の厚み中心部の固相率が少なくとも 0.2 の時点から 0.9 になる時点まで、圧下速度 (mm/min) と鋳造速度 (m/min) との積 (mm · m/

$\text{min}^2$ ) が 0.30 以上 1.00 以下に相当する圧下力を前記鋳片の長辺面に付与し、前記圧下力によって前記総バルジング量と同等の総圧下量または前記総バルジング量よりも小さい総圧下量で前記鋳片の長辺面を圧下する、請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の鋼の連続鋳造方法。

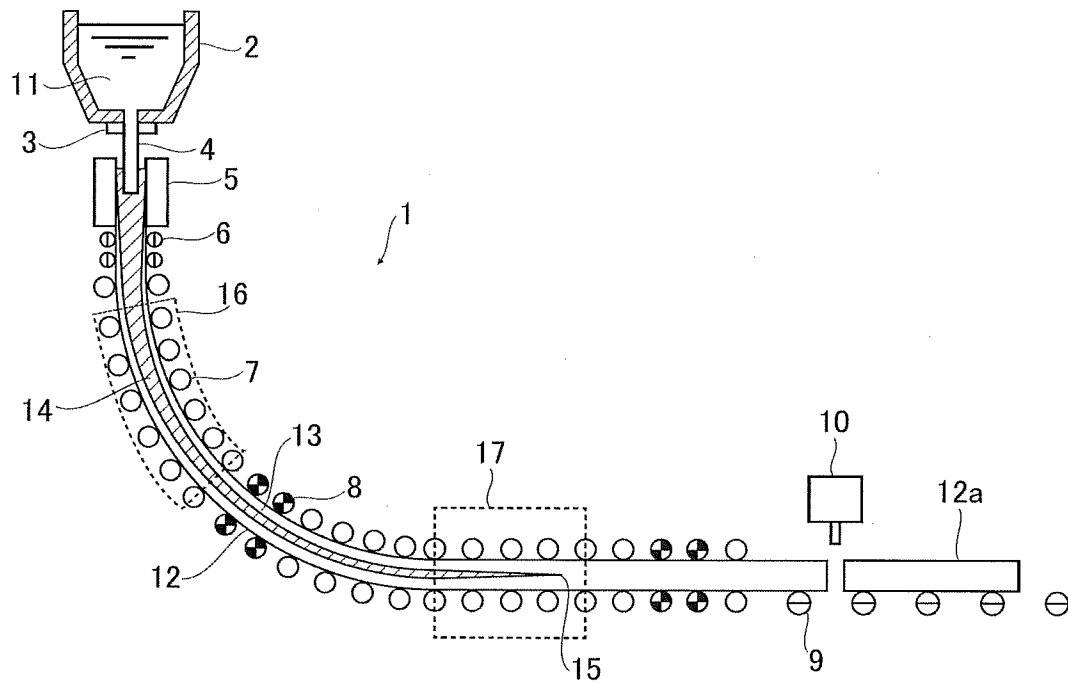
[請求項 8] 前記鋳型銅板の外壁面には、鋳造方向に沿った複数のスリットが前記鋳型銅板の幅方向に単数または複数のピッチで設けられ、

前記複数のスリットが単数のピッチで設けられている場合は、前記単数のピッチを  $Z$  (mm) とし、前記複数のスリットが複数のピッチで設けられている場合は、前記複数のピッチのうち最も長いピッチを  $Z$  (mm) としたとき、

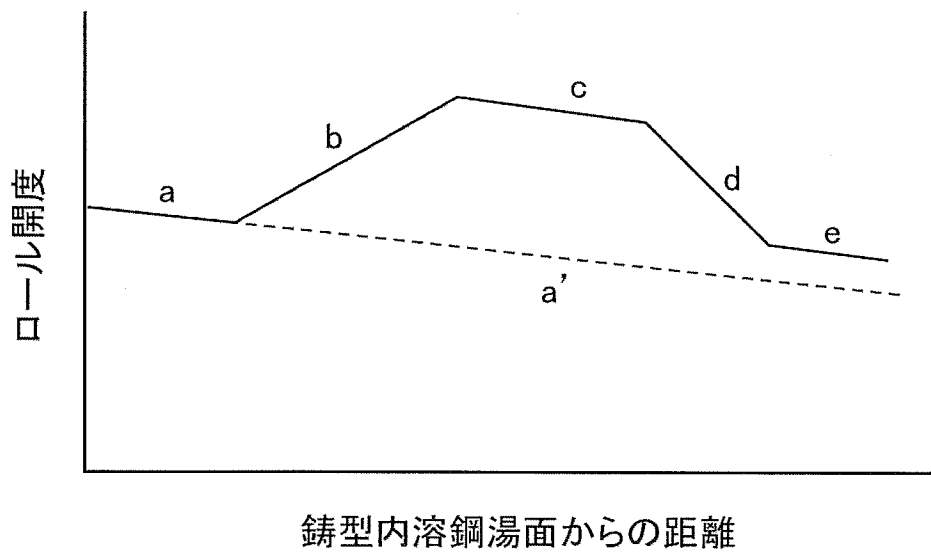
前記  $Z$  が下記 (4) 式を満足する、請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の鋼の連続鋳造方法。

$$Z \geq 2.5 \times D^2 \cdots (4)$$

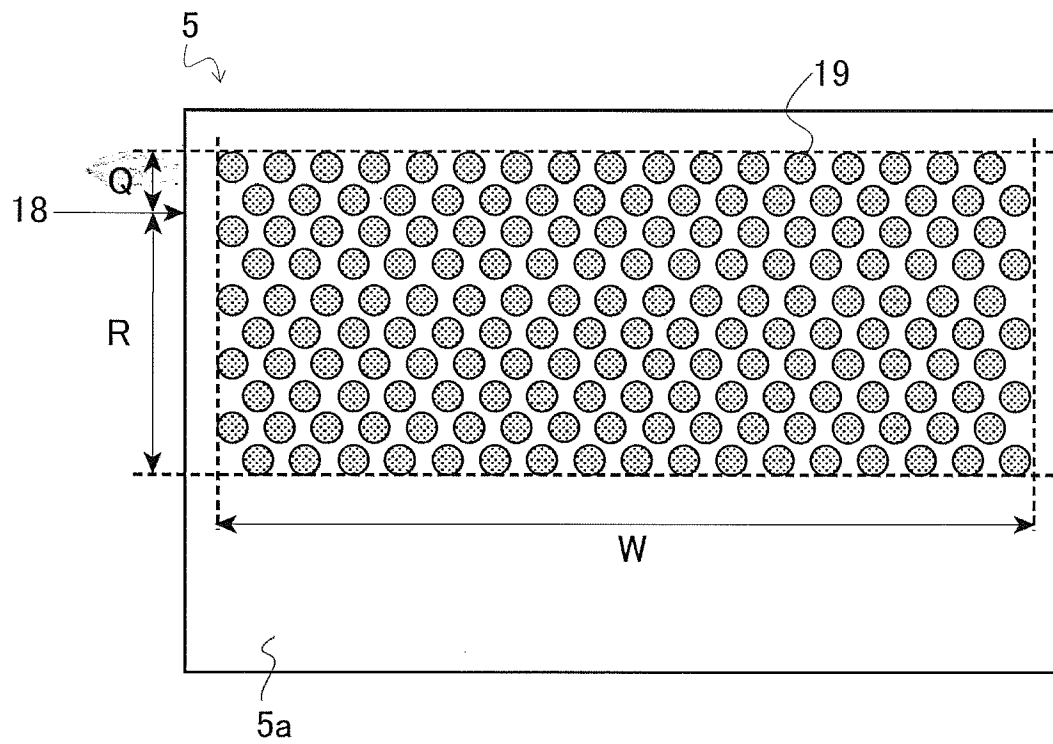
[図1]



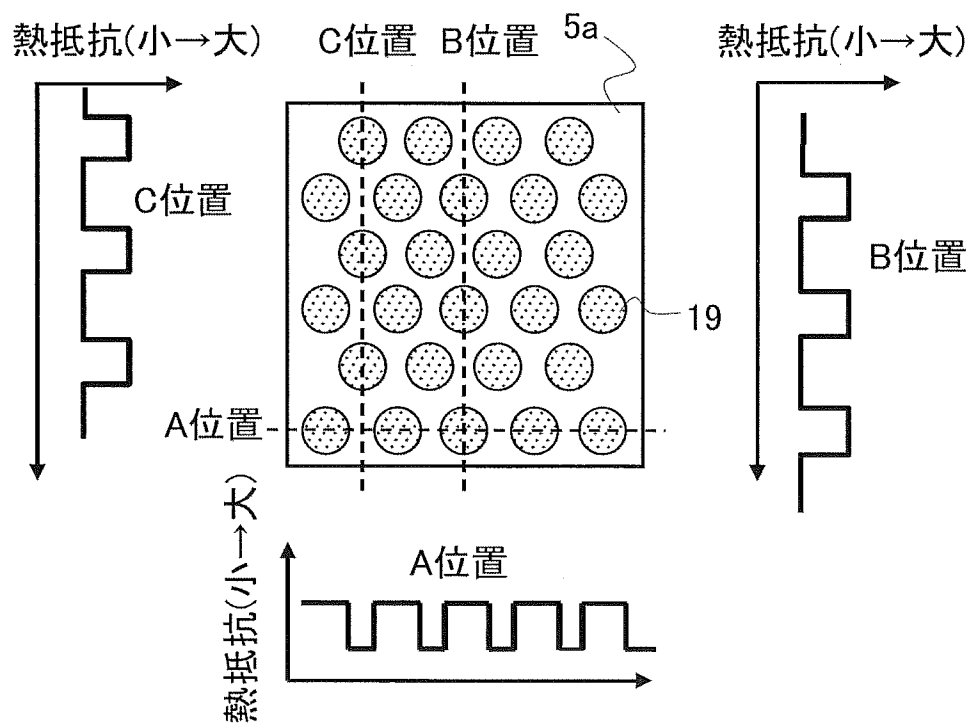
[図2]



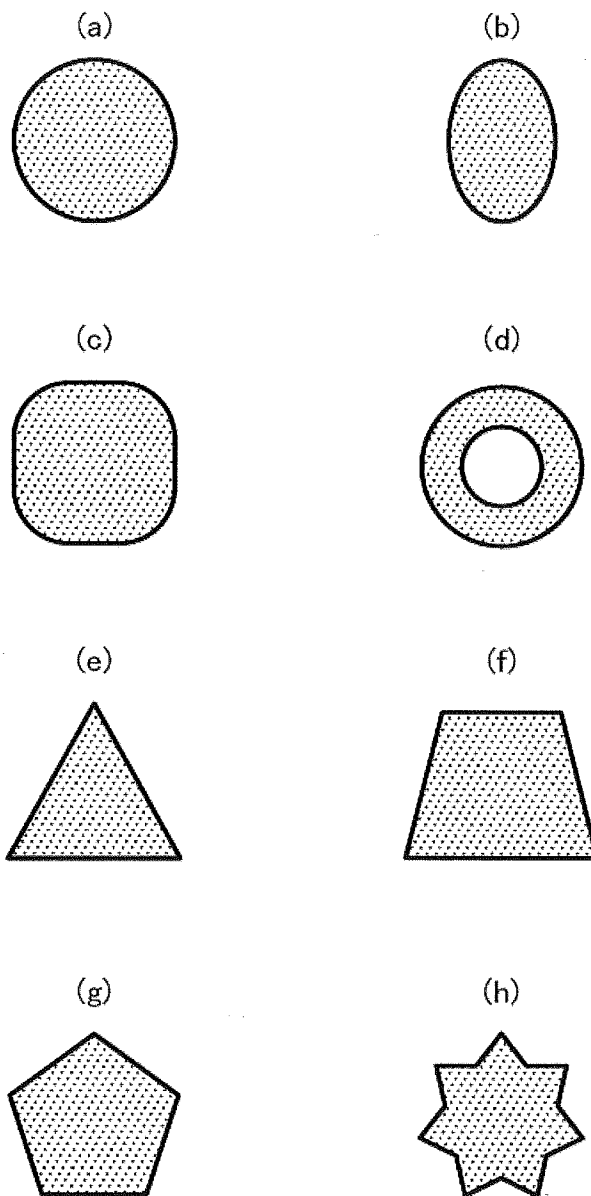
[図3]



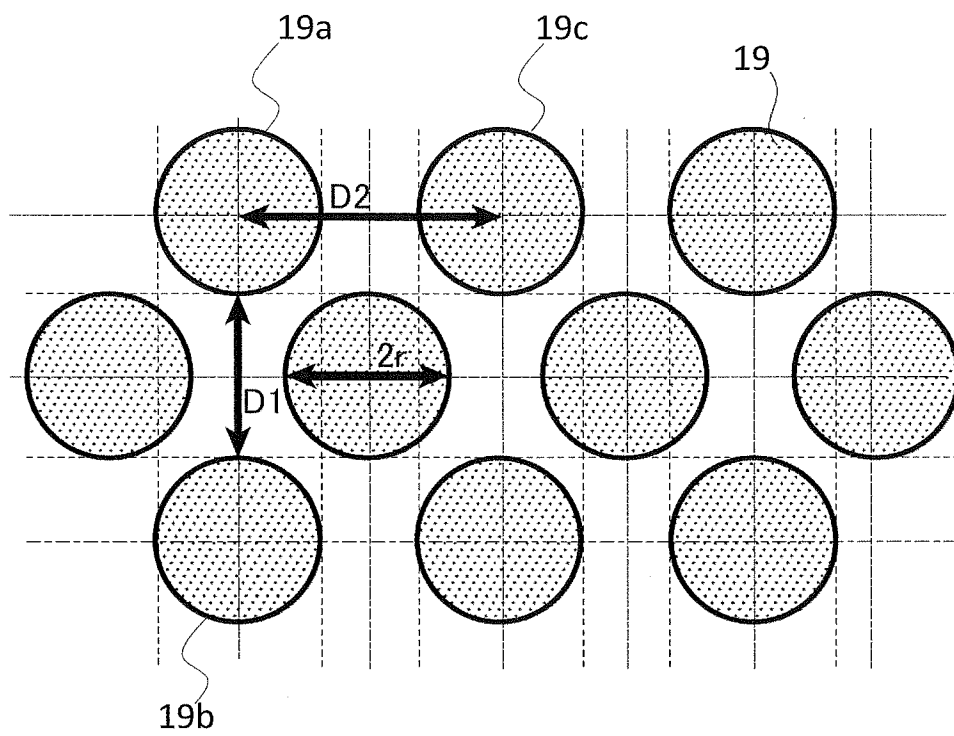
[図4]



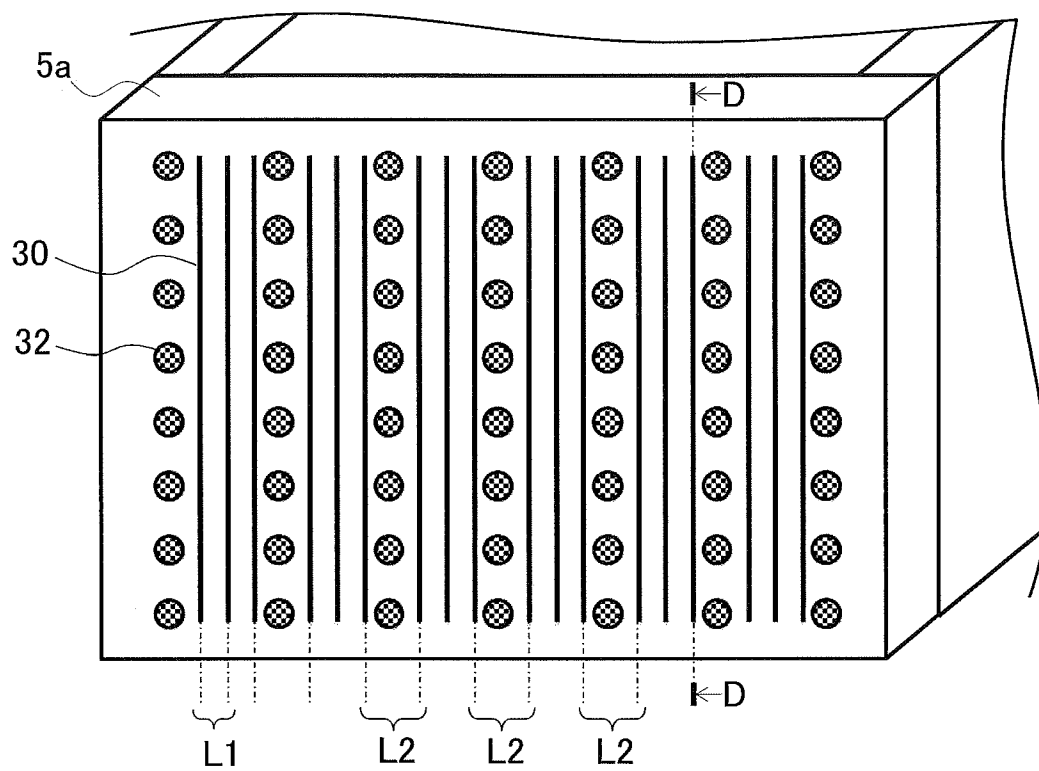
[図5]



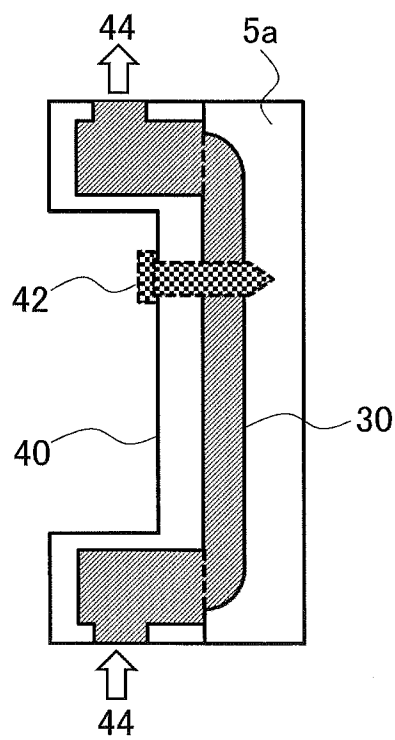
[図6]



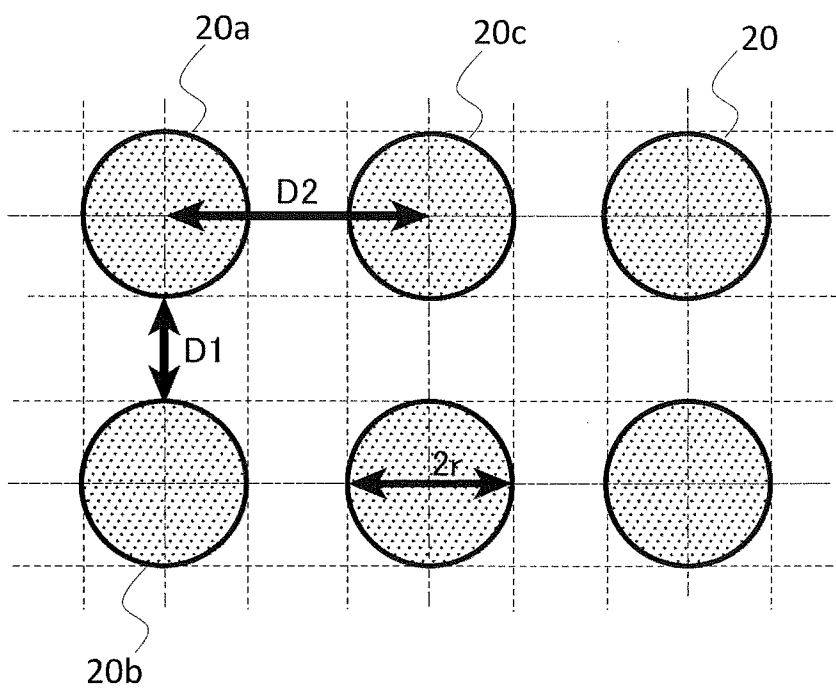
[図7]



[図8]



[図9]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/033955

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22D11/04(2006.01)i, B22D11/059(2006.01)i, B22D11/128(2006.01)i,  
B22D11/16(2006.01)i, B22D11/20(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)

B22D11/00-B22D11/22

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

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2017 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2017 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2017 |

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. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2015-96277 A (JFE Steel Corp.),<br>21 May 2015 (21.05.2015),<br>paragraphs [0050] to [0063]; fig. 1 to 2<br>(Family: none)                                                                                                                                                            | 1-8                   |
| Y         | WO 2014/002409 A1 (JFE Steel Corp.),<br>03 January 2014 (03.01.2014),<br>paragraphs [0017] to [0081]; fig. 1 to 3<br>& US 2015/0258603 A1<br>paragraphs [0042] to [0103]; fig. 1 to 3<br>& JP 2015-6695 A & EP 2839901 A1<br>& KR 10-2015-0009985 A & CN 104395015 A<br>& TW 201408397 A | 1, 3-8                |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"T" 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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
08 November 2017 (08.11.17)

Date of mailing of the international search report  
21 November 2017 (21.11.17)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/033955

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | WO 2016/067578 A1 (JFE Steel Corp.),<br>06 May 2016 (06.05.2016),<br>paragraphs [0035] to [0069]; fig. 1 to 12<br>& EP 3213838 A1<br>paragraphs [0035] to [0069]; fig. 1 to 12<br>& KR 10-2017-0057406 A & CN 107148322 A<br>& TW 201615303 A | 1-8                   |
| Y         | JP 2014-188521 A (JFE Steel Corp.),<br>06 October 2014 (06.10.2014),<br>paragraphs [0049] to [0051]; fig. 1<br>(Family: none)                                                                                                                 | 5-8                   |
| Y         | WO 2014/020860 A1 (JFE Steel Corp.),<br>06 February 2014 (06.02.2014),<br>paragraphs [0024] to [0045]; fig. 1<br>& EP 2881196 A1<br>paragraphs [0024] to [0045]; fig. 1<br>& CN 104507598 A & KR 10-2015-0023796 A                            | 7-8                   |
| Y         | JP 57-206555 A (Kawasaki Steel Corp.),<br>17 December 1982 (17.12.1982),<br>page 3, lower right column, line 9 to page 5,<br>upper right column, line 4; fig. 5 to 6<br>(Family: none)                                                        | 8                     |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B22D11/04(2006.01)i, B22D11/059(2006.01)i, B22D11/128(2006.01)i, B22D11/16(2006.01)i, B22D11/20(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. B22D11/00-B22D11/22

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 | 1971-2017年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2017年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2017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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | JP 2015-96277 A (J F E スチール株式会社) 2015.05.21,<br>[0050]-[0063], 図 1-2 (ファミリーなし)                                                                                                                                          | 1-8            |
| Y               | WO 2014/002409 A1 (J F E スチール株式会社) 2014.01.03,<br>[0017]-[0081], 図 1-3<br>& US 2015/0258603 A1, [0042]-[0103], FIG. 1-3<br>& JP 2015-6695 A & EP 2839901 A1 & KR 10-2015-0009985 A<br>& CN 104395015 A & TW 201408397 A | 1, 3-8         |

☑ 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

「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  
「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  
「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)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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  
「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  
「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  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.11.2017

国際調査報告の発送日

21.11.2017

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)

酒井 英夫

電話番号 03-3581-1101 内線 3425

4E

9631

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                  |                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| Y                     | WO 2016/067578 A1 ( J F E スチール株式会社) 2016. 05. 06,<br>[0035]-[0069], 図 1-12 & EP 3213838 A1, [0035]-[0069], FIG. 1-12<br>& KR 10-2017-0057406 A & CN 107148322 A & TW 201615303 A | 1-8            |
| Y                     | JP 2014-188521 A ( J F E スチール株式会社) 2014. 10. 06,<br>[0049]-[0051], 図 1 (ファミリーなし)                                                                                                 | 5-8            |
| Y                     | WO 2014/020860 A1 ( J F E スチール株式会社) 2014. 02. 06,<br>[0024]-[0045], 図 1 & EP 2881196 A1, [0024]-[0045], FIG. 1<br>& CN 104507598 A & KR 10-2015-0023796 A                        | 7-8            |
| Y                     | JP 57-206555 A (川崎製鉄株式会社) 1982. 12. 17,<br>第 3 ページ右下欄第 9 行-第 5 ページ右上欄第 4 行, 第 5-6 図<br>(ファミリーなし)                                                                                 | 8              |