

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2018-192530  
(P2018-192530A)

(43) 公開日 平成30年12月6日(2018.12.6)

(51) Int.Cl.  
B 2 2 D 11/059 (2006.01)

F I  
B 2 2 D 11/059 1 1 O Z  
B 2 2 D 11/059 1 2 O Z

テーマコード (参考)  
4 E O O 4

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 18 頁)

|              |                                     |          |                   |
|--------------|-------------------------------------|----------|-------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2018-170028 (P2018-170028)        | (71) 出願人 | 000001258         |
| (22) 出願日     | 平成30年9月11日 (2018. 9. 11)            |          | J F E スチール株式会社    |
| (62) 分割の表示   | 特願2016-157190 (P2016-157190)<br>の分割 |          | 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 |
| 原出願日         | 平成28年8月10日 (2016. 8. 10)            | (74) 代理人 | 100158573         |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2015-160948 (P2015-160948)        |          | 弁理士 尾崎 大介         |
| (32) 優先日     | 平成27年8月18日 (2015. 8. 18)            | (74) 代理人 | 100123386         |
| (33) 優先権主張国  | 日本国 (JP)                            |          | 弁理士 熊坂 晃          |
|              |                                     | (74) 代理人 | 100184859         |
|              |                                     |          | 弁理士 磯村 哲朗         |
|              |                                     | (74) 代理人 | 100196667         |
|              |                                     |          | 弁理士 坂井 哲也         |
|              |                                     | (74) 代理人 | 100130834         |
|              |                                     |          | 弁理士 森 和弘          |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 連続铸造用铸型及び鋼の連続铸造方法

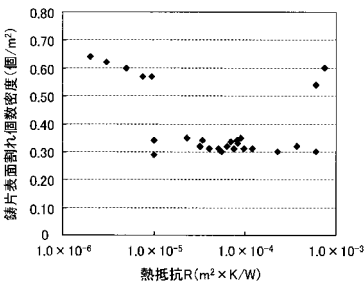
(57) 【要約】

【課題】凝固初期の凝固シェルの不均一冷却による表面割れ、及び、中炭素鋼でのδ鉄からγ鉄への変態に起因する凝固シェル厚みの不均一による表面割れを防止する。

【解決手段】本発明の連続铸造用铸型は、水冷式銅合金製铸型1の内壁面の所定範囲に铸型銅板の熱伝導率とは異なる熱伝導率の金属または非金属が充填された異種物質充填部を有する連続铸造用铸型であって、前記異種物質充填部の設置位置における铸型銅板表面と铸型冷却水の流路である铸型銅板のスリットとの間の熱抵抗R (m<sup>2</sup> × K/W) が下記の(1)式の範囲であり、且つ、铸型銅板の熱伝導率λ<sub>Cu</sub>と前記金属または非金属の熱伝導率λ<sub>ma</sub>との比(λ<sub>Cu</sub>/λ<sub>ma</sub>)が0.2よりも大きく20.0よりも小さい(但し、λ<sub>Cu</sub>=λ<sub>ma</sub>の場合を除く)。

1. 0 × 10<sup>-5</sup> < R < 6. 0 × 10<sup>-4</sup> . . . (1)

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

水冷式銅合金製鋳型の内壁面の少なくともメニスカスを含む領域の銅合金製鋳型銅板の内壁面の凹部に、鋳型銅板の熱伝導率とは異なる熱伝導率の金属または非金属が充填された複数の異種物質充填部を有する連続鋳造用鋳型であって、

前記異種物質充填部の設置位置における鋳型銅板表面と鋳型冷却水の流路である鋳型銅板のスリットとの間の熱抵抗が下記の(1)式の範囲であり、且つ、鋳型銅板の熱伝導率と銅合金製鋳型銅板の内壁面に充填される金属または非金属の熱伝導率との比が下記の(2)式または(3)式の範囲である異種物質充填部を有し、

前記鋳型銅板の内壁面には、鍍金層の熱伝導率が鋳型銅板の熱伝導率に対して下記の(4)式を満足し、且つ、鍍金層の厚みが鋳型銅板の厚みに対して下記の(5)式を満足する鍍金層が形成されており、該鍍金層で前記異種物質充填部は覆われていることを特徴とする、連続鋳造用鋳型。

$$1.0 \times 10^{-5} < R < 6.0 \times 10^{-4} \dots (1)$$

$$0.2 < \lambda_{Cu} / \lambda_{ma} < 1.0 \dots (2)$$

$$1.0 < \lambda_{Cu} / \lambda_{ma} < 20.0 \dots (3)$$

$$0.5 < \lambda_{Cu} / \lambda_{coating} < 15.0 \dots (4)$$

$$4.0 < T_{Cu} / T_{coating} < 250.0 \dots (5)$$

但し、(1)式において、 $R$ は鋳型銅板表面と鋳型銅板のスリットとの間の熱抵抗( $m^2 \times K / W$ )であり、また、(2)式及び(3)式において、 $\lambda_{Cu}$ は鋳型銅板の熱伝導率( $W / (m \times K)$ )、 $\lambda_{ma}$ は銅合金製鋳型銅板の内壁面に充填される金属または非金属の熱伝導率( $W / (m \times K)$ )であり、また、(4)式において、 $\lambda_{Cu}$ は鋳型銅板の熱伝導率( $W / (m \times K)$ )、 $\lambda_{coating}$ は鍍金層の熱伝導率( $W / (m \times K)$ )であり、また、(5)式において、 $T_{Cu}$ は鋳型銅板の厚みであって、具体的には鋳型銅板表面と鋳型銅板のスリットの底との間の距離( $m$ )、 $T_{coating}$ は鍍金層の厚み( $m$ )である。

## 【請求項 2】

前記連続鋳造用鋳型は、前記複数の異種物質充填部が設けられた銅合金製鋳型銅板の内壁面の範囲において、前記複数の異種物質充填部によって形成された周期的に増減する熱抵抗分布または熱流束分布を有することを特徴とする、請求項 1 に記載の連続鋳造用鋳型。

## 【請求項 3】

前記内壁面の凹部は、円形凹溝または擬似円形凹溝であることを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載の連続鋳造用鋳型。

## 【請求項 4】

前記複数の異種物質充填部は、互いに独立してなることを特徴とする、請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載の連続鋳造用鋳型。

## 【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の連続鋳造用鋳型を用い、鋳型銅板の熱伝導率、異種物質充填部の熱伝導率、及び鋳型銅板のスリットの総断面積に応じて、鋳型冷却水の流量が下記の(6)式または(7)式を満足するように、鋳型冷却水の流量を制御して溶鋼を連続鋳造することを特徴とする、鋼の連続鋳造方法。

$$3 < (Q / S) \times (\lambda_{Cu} / \lambda_{ma}) < 150 \text{ (但し、} \lambda_{Cu} > \lambda_{ma} \text{)} \dots (6)$$

$$3 < (Q / S) \times (\lambda_{ma} / \lambda_{Cu}) < 120 \text{ (但し、} \lambda_{Cu} < \lambda_{ma} \text{)} \dots (7)$$

但し、(6)式及び(7)式において、 $Q$ は鋳型冷却水の流量( $m^3 / sec$ )、 $S$ は鋳型銅板のスリットの総断面積( $m^2$ )、 $\lambda_{Cu}$ は鋳型銅板の熱伝導率( $W / (m \times K)$ )、 $\lambda_{ma}$ は異種物質充填部の熱伝導率( $W / (m \times K)$ )である。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、鋳型内での凝固シェルの不均一冷却に起因する鋳片表面割れを抑制して溶鋼を連続鋳造することのできる連続鋳造用鋳型、及び、この鋳型を使用した鋼の連続鋳造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

鋼の連続鋳造では、鋳型内に注入された溶鋼は水冷式鋳型によって冷却され、鋳型との接触面で溶鋼が凝固して凝固層（「凝固シェル」という）が生成される。この凝固シェルの外殻とし、内部を未凝固層とする鋳片は、鋳型下流側に設置された水スプレーや気水スプレーによって冷却されながら鋳型下方に連続的に引き抜かれる。鋳片は、水スプレーや気水スプレーによる冷却によって中心部まで凝固し、その後、ガス切断機などによって切

10

【0003】

鋳型内における冷却が不均一になると、凝固シェルの厚みが鋳片の鋳造方向及び鋳型幅方向で不均一となる。凝固シェルには、凝固シェルの収縮や変形に起因する応力が作用し、凝固初期においては、この応力が凝固シェルの薄肉部に集中し、この応力によって凝固シェルの表面に割れが発生する。この割れは、その後の熱応力や連続鋳造機のロールによる曲げ応力及び矯正応力などの外力により拡大し、大きな表面割れとなる。凝固シェル厚みの不均一度が大きい場合には、鋳型内での縦割れとなり、この縦割れから溶鋼が流出するブレイクアウトが発生する場合もある。鋳片に存在する割れは、次工程の圧延工程で表面欠陥となることから、鋳造後の鋳片の段階において、鋳片の表面を手入れして表面割れを除去することが必要となる。

20

【0004】

鋳型内の不均一凝固は、特に、炭素含有量が0.08～0.17質量%の鋼（中炭素鋼という）で発生しやすい。炭素含有量が0.08～0.17質量%の鋼では、凝固時に包晶反応が起こり、鋳型内の不均一凝固は、この包晶反応による $\delta$ 鉄（フェライト）から $\gamma$ 鉄（オーステナイト）への変態時の体積収縮による変態応力に起因すると考えられている。つまり、この変態応力に起因する歪みによって凝固シェルが変形し、この変形によって凝固シェルが鋳型内壁面から離れる。鋳型内壁面から離れた部位は鋳型による冷却が低下し、この鋳型内壁面から離れた部位（この鋳型内壁面から離れた部位を「デプレッション」という）の凝固シェル厚みが薄くなり、凝固シェル厚みが薄くなることで、この部分に

30

【0005】

特に、鋳片引き抜き速度を増加した場合には、凝固シェルから鋳型冷却水への平均熱流束が増加する（凝固シェルが急速冷却される）のみならず、熱流束の分布が不規則で且つ不均一になることから、鋳片表面割れの発生が増加傾向となる。具体的には、鋳片厚みが200mm以上のスラブ連続鋳造機においては、鋳片引き抜き速度が1.5m/min以上になると表面割れが発生しやすくなる。

【0006】

そこで、従来、上記の包晶反応を伴う、表面割れが発生しやすい鋼種の表面割れ（特に縦割れ）を抑制するために、種々の手段が提案されている。

40

【0007】

例えば、特許文献1には、結晶化しやすい組成のモールドパウダーを使用し、モールドパウダー層の熱抵抗を増大させて凝固シェルの緩冷却することが提案されている。これは、緩冷却によって凝固シェルに作用する応力を低下させて表面割れを抑制するという技術である。しかしながら、モールドパウダーによる緩冷却効果のみでは、不均一凝固を十分に改善するまでには至っておらず、特に凝固に伴う僅かな温度低下で変態が生じる中炭素鋼では、表面割れの発生を防止することはできないのが実情である。

【0008】

特許文献2には、鋳型内壁面に縦溝と横溝とを設け、これら縦溝及び横溝の内部にモールドパウダーを流入させ、これにより、鋳型の冷却を緩冷却化すると同時に鋳型幅方向で

50

均一化し、鑄片の縦割れを防止する技術が提案されている。しかしながら、鑄片との接触によって鑄型内壁面は摩耗し、鑄型内壁面に設けた溝が浅くなると、モールドパウダーの流れ込み量が少なくなって緩冷却効果が低減するという問題、つまり、緩冷却効果が持続しないという問題がある。また、鑄造開始時の空の鑄型空間内への溶鋼注入時に、注入した溶鋼が鑄型内壁面に設けた溝の内部に侵入して凝固し、鑄型銅板と凝固シェルとが固着して、凝固シェルの引き抜きができなくなり、拘束性ブレークアウトが発生する虞があるという問題もある。

#### 【0009】

特許文献3には、鑄型内壁面に格子状の溝を設けた鑄型、及び、前記格子状の溝に異種金属（Ni, Cr）またはセラミックス（BN、AlN、ZrO<sub>2</sub>）を充填した鑄型が提案されている。この技術は、溝部と溝部以外の部分とで抜熱量に差を生じさせ、凝固に伴う変態や熱収縮による応力を低抜熱の領域に分散させることで、鑄片の縦割れを抑制するという技術である。しかしながら、溝が格子状であり、格子溝形状では、鑄型内壁面の溝部と鑄型銅板（銅または銅合金）との境界が直線であり、熱膨張差に起因して境界面に割れが発生し且つ伝播しやすく、鑄型寿命が低下するという問題がある。

#### 【0010】

特許文献4には、鑄型内壁面に鑄造方向と平行な縦溝を設けた鑄型、及び、前記縦溝に異種金属（Ni, Cr）またはセラミックス（BN、AlN、ZrO<sub>2</sub>）を充填した鑄型を用い、鑄片引き抜き速度と鑄型振動周期とを所定の範囲に規定する連続鑄造方法が提案されている。特許文献4によれば、鑄片引き抜き速度に応じて鑄型振動周期を適正化することで、鑄片に形成されるオシレーションマークが横溝を付与したように働き、縦溝のみでも、特許文献3と同様の表面割れ低減効果が認められるとしている。しかしながら、特許文献3と同様に、鑄型内壁面の溝部と鑄型銅板（銅または銅合金）との境界が直線であり、熱膨張差に起因して境界面に割れが発生し且つ伝播しやすく、鑄型寿命が低下するという問題がある。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0011】

【特許文献1】特開2005-297001号公報

【特許文献2】特開平9-276994号公報

【特許文献3】特開平1-289542号公報

【特許文献4】特開平2-6037号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0012】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、鑄造開始時での拘束性ブレークアウトの発生及び鑄型銅板表面の割れによる鑄型寿命低下を起こすことなく、凝固初期の凝固シェルの不均一冷却による表面割れ、及び、包晶反応を伴う中炭素鋼でのδ鉄からγ鉄への変態に起因する凝固シェル厚みの不均一による表面割れを長期間に亘って抑制できる連続鑄造用鑄型を提供することであり、また、この連続鑄造用鑄型を使用した鋼の連続鑄造方法を提供することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

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] 水冷式銅合金製鑄型の内壁面の少なくともメニスカスを含む領域の銅合金製鑄型銅板の内壁面の凹部に、鑄型銅板の熱伝導率とは異なる熱伝導率の金属または非金属が充填された複数の異種物質充填部を有する連続鑄造用鑄型であって、前記異種物質充填部の設置位置における鑄型銅板表面と鑄型冷却水の流路である鑄型銅板のスリットとの間の熱抵抗が下記の(1)式の範囲であり、且つ、鑄型銅板の熱伝導率と銅合金製鑄型銅板の内壁面に充填される金属または非金属の熱伝導率との比が下記の(2)式または(3)式の範

囲である異種物質充填部を有することを特徴とする、連続鋳造用鋳型。

$$1. \quad 0 \times 10^{-5} < R < 6. \quad 0 \times 10^{-4} \cdots (1)$$

$$0. \quad 2 < \lambda_{Cu} / \lambda_{ma} < 1. \quad 0 \cdots (2)$$

$$1. \quad 0 < \lambda_{Cu} / \lambda_{ma} < 20. \quad 0 \cdots (3)$$

但し、(1)式において、 $R$ は鋳型銅板表面と鋳型銅板のスリットとの間の熱抵抗 ( $m^2 \times K / W$ )であり、また、(2)式及び(3)式において、 $\lambda_{Cu}$ は鋳型銅板の熱伝導率

( $W / (m \times K)$ )、 $\lambda_{ma}$ は銅合金製鋳型銅板の内壁面に充填される金属または非金属の熱伝導率 ( $W / (m \times K)$ )である。

[2] 前記連続鋳造用鋳型は、前記複数の異種物質充填部が設けられた銅合金製鋳型銅板の内壁面の範囲において、前記複数の異種物質充填部によって形成された周期的に増減する熱抵抗分布または熱流束分布を有することを特徴とする、[1]に記載の連続鋳造用鋳型。

[3] 前記内壁面の凹部は、円形凹溝または擬円形凹溝であることを特徴とする、[1]または[2]に記載の連続鋳造用鋳型。

[4] 前記複数の異種物質充填部は、互いに独立してなることを特徴とする、[1]から[3]の何れか1つに記載の連続鋳造用鋳型。

[5] 前記鋳型銅板の内壁面には、鍍金層の熱伝導率が鋳型銅板の熱伝導率に対して下記の(4)式を満足し、且つ、鍍金層の厚みが鋳型銅板の厚みに対して下記の(5)式を満足する鍍金層が形成されており、該鍍金層で前記異種物質充填部は覆われていることを特徴とする、[1]から[4]の何れか1つに記載の連続鋳造用鋳型。

$$0. \quad 5 < \lambda_{Cu} / \lambda_{coating} < 15. \quad 0 \cdots (4)$$

$$4. \quad 0 < T_{Cu} / T_{coating} < 250. \quad 0 \cdots (5)$$

但し、(4)式において、 $\lambda_{Cu}$ は鋳型銅板の熱伝導率 ( $W / (m \times K)$ )、 $\lambda_{coating}$ は鍍金層の熱伝導率 ( $W / (m \times K)$ )であり、また、(5)式において、 $T_{Cu}$ は鋳型銅板の厚みであって、具体的には鋳型銅板表面と鋳型銅板のスリットの底との間の距離 ( $m$ )、 $T_{coating}$ は鍍金層の厚み ( $m$ )である。

[6] [1]か[5]の何れか1つに記載の連続鋳造用鋳型を用い、鋳型銅板の熱伝導率、異種物質充填部の熱伝導率、及び鋳型銅板のスリットの総断面積に応じて、鋳型冷却水の流量が下記の(6)式または(7)式を満足するように、鋳型冷却水の流量を制御して溶鋼を連続鋳造することを特徴とする、鋼の連続鋳造方法。

$$3 < (Q / S) \times (\lambda_{Cu} / \lambda_{ma}) < 150 \quad (\text{但し、} \lambda_{Cu} > \lambda_{ma}) \cdots (6)$$

$$3 < (Q / S) \times (\lambda_{ma} / \lambda_{Cu}) < 120 \quad (\text{但し、} \lambda_{Cu} < \lambda_{ma}) \cdots (7)$$

但し、(6)式及び(7)式において、 $Q$ は鋳型冷却水の流量 ( $m^3 / sec$ )、 $S$ は鋳型銅板のスリットの総断面積 ( $m^2$ )、 $\lambda_{Cu}$ は鋳型銅板の熱伝導率 ( $W / (m \times K)$ )、

$\lambda_{ma}$ は異種物質充填部の熱伝導率 ( $W / (m \times K)$ )である。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、異種物質充填部を形成する物質として、鋳型銅板の熱伝導率に対する比率が所定の範囲である金属または非金属を使用し、異種物質充填部の設置位置における鋳型銅板表面と鋳型冷却水の流路である鋳型銅板のスリットとの間の熱抵抗が所定の値である複数の異種物質充填部を、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増減し、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増減する。この熱流束の増減により、 $\delta$ 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り、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、凝固シェル表面における割れの発生が抑制される。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本実施形態に係る連続鋳造用鋳型の一部を構成する鋳型長辺銅板を内壁面側から見た概略側面図である。

【図2】図1に示す鋳型長辺銅板のX-X'断面図である。

【図3】鋳型銅板よりも熱伝導率の低い物質が充填されて形成された異種物質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、異種物質充填部の位置に対応して概念的に示す図である。

【図4】異種物質充填部の設置位置における鋳型銅板表面とスリットとの間の熱抵抗が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。

【図5】鋳型銅板の熱伝導率 $\lambda_{Cu}$ と充填される金属または非金属の熱伝導率 $\lambda_{ma}$ との比( $\lambda_{Cu}/\lambda_{ma}$ )が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。

【図6】鋳型長辺銅板の内壁面に鋳型表面の保護のための鍍金層を設けた例を示す概略図である。

【図7】鋳型銅板の熱伝導率 $\lambda_{Cu}$ と鍍金層の熱伝導率 $\lambda_{coating}$ との比( $\lambda_{Cu}/\lambda_{coating}$ )が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。

【図8】鋳型銅板厚み $T_{Cu}$ と鍍金層厚み $T_{coating}$ との比( $T_{Cu}/T_{coating}$ )が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。

【図9】鋳型銅板の熱伝導率 $\lambda_{Cu}$ が充填金属または充填非金属の熱伝導率 $\lambda_{ma}$ よりも大きい条件下で、「 $(Q/S) \times (\lambda_{Cu}/\lambda_{ma})$ 」の値が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。

【図10】鋳型銅板の熱伝導率 $\lambda_{Cu}$ が充填金属または充填非金属の熱伝導率 $\lambda_{ma}$ よりも小さい条件下で、「 $(Q/S) \times (\lambda_{ma}/\lambda_{Cu})$ 」の値が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。

【図11】本発明例、比較例及び従来例で、スラブ鋳片の表面割れ個数密度を比較して示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を具体的に説明する。図1は、本実施形態に係る連続鋳造用鋳型の一部を構成する鋳型長辺銅板であって、内壁面側に異種物質充填部が形成された鋳型長辺銅板を内壁面側から見た概略側面図、図2は、図1に示す鋳型長辺銅板のX-X'断面図である。

【0017】

図1に示す連続鋳造用鋳型は、スラブ鋳片を鋳造するための連続鋳造用鋳型の一例である。スラブ鋳片用の連続鋳造用鋳型は、一对の銅合金製の鋳型長辺銅板と一对の銅合金製の鋳型短辺銅板とを組み合わせ構成され、図1は、そのうちの鋳型長辺銅板1を示している。鋳型短辺銅板も鋳型長辺銅板1と同様に、その内壁面側に異種物質充填部3が形成されるとして、ここでは、鋳型短辺銅板についての説明は省略する。但し、スラブ鋳片においては、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、スラブ鋳片用の連続鋳造用鋳型の鋳型短辺銅板には、異種物質充填部を設置しなくてもよい。

【0018】

図1に示すように、鋳型長辺銅板1における定常鋳造時のメニスカスの位置よりも長さ $L_1$ （長さ $L_1$ は、ゼロ以上の任意の値）離れた上方の位置から、メニスカスよりも長さ $L_2$ だけ下方の位置までの鋳型長辺銅板1の内壁面には、直径を $d$ とし、鋳型長辺銅板1の熱伝導率とは異なる熱伝導率の金属または非金属が充填された、複数個の異種物質充填部3が、異種物質充填部同士の間隔を $P$ として設置されている。ここで、「メニスカス」とは「鋳型内溶鋼湯面」であり、非鋳造中にはその位置は明確でないが、通常の鋼の連続鋳造操業では、メニスカス位置を鋳型銅板の上端から50mmないし200mm程度下方

10

20

30

40

50

の位置としている。したがって、メニスカス位置が鋳型長辺銅板 1 の上端から 50 mm 下方の位置であっても、また、上端から 200 mm 下方の位置であっても、長さ  $L_1$  及び長さ  $L_2$  が、以下に説明する条件を満足するように異種物質充填部 3 を配置すればよい。

【0019】

即ち、凝固シェルの初期凝固への影響を勘案すれば、異種物質充填部 3 の設置位置は、定常鋳造時の鋳片引き抜き速度  $V_c$  に応じて、下記の (8) 式から算出される長さ  $L_0$  以上メニスカスよりも下方の位置までとすることが必要である。つまり、図 1 に示す、メニスカス位置からの長さ  $L_2$  は、長さ  $L_0$  以上とする必要がある。

【0020】

$$L_0 = 2 \times V_c \times 1000 / 60 \cdots (8)$$

10

但し、(8) 式において、 $L_0$  は長さ (mm)、 $V_c$  は定常鋳造時の鋳片引き抜き速度 (m/min) である。

【0021】

長さ  $L_0$  は、凝固開始した後の鋳片が異種物質充填部 3 の設置された範囲を通過する時間に関係しており、鋳片の表面割れを抑制するためには、凝固開始後から少なくとも 2 秒間は、鋳片が異種物質充填部 3 の設置された範囲内に滞在することが必要であることを、本発明者らは確認している。鋳片が凝固開始後から少なくとも 2 秒間は異種物質充填部 3 の設置された範囲に存在するためには、長さ  $L_0$  は (8) 式を満たすことが必要となる。

【0022】

凝固開始した後の鋳片が異種物質充填部 3 の設置された範囲内に滞在する時間を 2 秒以上確保することで、異種物質充填部 3 による熱流束の周期的な変動の効果が十分に得られ、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、鋳片の表面割れ抑制効果が得られる。異種物質充填部 3 による熱流束の周期的な変動の効果を安定して得るには、鋳片が異種物質充填部 3 の設置された範囲を通過する時間を 4 秒以上確保することがより好ましい。

20

【0023】

長さ  $L_2$  の具体的な長さは、厚みが 200 mm 以上のスラブ連続鋳造機における鋳片引き抜き速度  $V_c$  は、3.0 m/min 程度が上限であるので、長さ  $L_2$  が 100 mm 以上、望ましくは 200 mm 以上となるように、メニスカス位置に応じて異種物質充填部 3 を設置すればよい。長さ  $L_2$  の上限を定めなくてよく、鋳型下端まで異種物質充填部 3 を設置してもよい。

30

【0024】

一方、異種物質充填部 3 の上端部の位置は、メニスカスと同一位置またはメニスカス位置よりも上方であればこの位置であってもよく、従って、図 1 に示す長さ  $L_1$  は、ゼロ以上の任意の値であればよい。但し、メニスカスは、鋳造中に異種物質充填部 3 の設置領域に存在する必要があるが、しかも、メニスカスは鋳造中に上下方向に変動するので、異種物質充填部 3 の上端部が常にメニスカスよりも上方位置となるように、異種物質充填部 3 の上端部を想定されるメニスカス位置よりも 10 mm 程度上方位置とすることが好ましく、異種物質充填部 3 の上端部を想定されるメニスカス位置よりも 20 mm ~ 50 mm 程度上方位置とすることがより好ましい。

40

【0025】

この異種物質充填部 3 は、図 2 に示すように、鋳型長辺銅板 1 の内壁面側に加工された円形凹溝 2 の内部に、鋳型長辺銅板 1 を構成する銅合金の熱伝導率とは異なる熱伝導率の金属または非金属が充填されて形成されたものである。なお、異種物質充填部 3 が互いに独立するように円形凹溝 2 を加工することがより好ましい。

【0026】

円形凹溝 2 の内部に充填される金属または非金属の熱伝導率は、一般的には、鋳型長辺銅板 1 を構成する銅合金の熱伝導率よりも低いが、例えば、鋳型長辺銅板 1 を構成する銅合金として熱伝導率の低い銅合金を使用した場合には、充填される金属または非金属の熱伝導率の方が高くなることもある。充填する物質が金属の場合には、鍍金処理または溶射

50

処理によって充填し、充填する物質が非金属の場合には、円形凹溝 2 の形状に合わせて加工した非金属を円形凹溝 2 に嵌め込むなどして充填する。ここで、図 2 における符号 4 は、鑄型冷却水の流路を構成する、鑄型長辺銅板 1 の背面側に設置されたスリット、符号 4 a はスリットの底、符号 5 は、鑄型長辺銅板 1 の背面と密着するバックプレートであり、スリット 4 を通る鑄型冷却水によって、鑄型長辺銅板 1 は冷却される。

#### 【0027】

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銅板として使用される、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ればよい。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、鑄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が用いられている。この場合、導電率の低下に応じて熱伝導率も低減し、純銅 (熱伝導率; 約  $400 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ) の  $1/2$  前後の熱伝導率の銅合金製鑄型銅板も使用されることがある。尚、鑄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。

#### 【0028】

図 3 に、鑄型銅板よりも熱伝導率の低い物質が充填されて形成された異種物質充填部 3 を有する鑄型長辺銅板 1 の三箇所における熱抵抗を、異種物質充填部 3 の位置に対応して概念的に示す。この場合、異種物質充填部 3 の設置位置では熱抵抗が相対的に高くなる。

#### 【0029】

複数の異種物質充填部 3 を、メニスカス位置を含んでメニスカス近傍の連続鑄造用鑄型の幅方向及び鑄造方向に設置して、図 3 に示すように、メニスカス近傍の鑄型幅方向及び鑄造方向における連続鑄造用鑄型の熱抵抗が周期的に増減する熱抵抗の分布を形成させることが好ましい。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鑄造用鑄型への熱流束が周期的に増減する熱流束の分布が形成される。

#### 【0030】

尚、鑄型銅板よりも熱伝導率の高い物質を充填して異種物質充填部 3 を形成した場合には、図 3 とは異なり、異種物質充填部 3 の設置位置で熱抵抗が相対的に低くなるが、この場合も同様に、メニスカス近傍の鑄型幅方向及び鑄造方向における連続鑄造用鑄型の熱抵抗が周期的に増減する。

#### 【0031】

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 (以下「 $\delta / \gamma$  変態」と記す) によって発生す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、凝固シェル表面における表面割れの発生が抑制される。

#### 【0032】

但し、凝固シェル表面における表面割れの発生を安定して抑制するためには、異種物質充填部 3 を設置したことによる熱流束の増減が適正でなければならない。つまり、熱流束の増減の差が小さすぎれば、異種物質充填部 3 を設置した効果が得られず、逆に、熱流束の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。異種物質充填部 3 を設置したことによる熱流束の増減の差は、異種物質充填部 3 の設置位置における熱抵抗及び異種物質充填部 3 に充填する金属または非金属の熱伝導率に依存する。

#### 【0033】

そこで、本発明者らは、異種物質充填部 3 の設置位置における鑄型銅板表面と鑄型銅板のスリット 4 との間の熱抵抗が、鑄片表面割れに及ぼす影響、及び、異種物質充填部 3 に充填する金属または非金属の熱伝導率が、鑄片表面割れに及ぼす影響を調査した。調査方法は、異種物質充填部 3 を形成する金属または非金属、及び、異種物質充填部 3 の直径  $d$



、間隔 P または充填厚み H を種々変更して、図 1 に示す連続鑄造用鑄型を製作し、この連続鑄造用鑄型を用いて中炭素鋼の連続鑄造を行い、鑄造後のスラブ鑄片の表面割れ発生状況を調査した。鑄片の表面割れの調査は、面積  $21\text{ m}^2$  以上の鑄片表面を染色浸透探傷検査によって検査し、検出された長さ  $1.0\text{ mm}$  以上の縦割れの個数を測定し、この個数を鑄片の測定面積で除算したものを鑄片表面割れ個数密度と定義し、この鑄片表面割れ個数密度で評価した。

#### 【0034】

図 4 に、異種物質充填部 3 の設置位置における鑄型銅板表面とスリット 4 との間の熱抵抗 R が鑄片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す。

#### 【0035】

図 4 に示すように、熱抵抗 R が、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  よりも大きく、 $6.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  よりも小さい範囲のときに、鑄片表面割れ個数密度が安定して 0.40 個以下になることがわかった。つまり、異種物質充填部 3 の設置位置における鑄型銅板表面と鑄型冷却水の流路である鑄型銅板のスリット 4 との間の熱抵抗 R ( $\text{m}^2 \times \text{K} / \text{W}$ ) は、下記の (1) 式の範囲を満足する必要があることがわかった。

#### 【0036】

$$1.0 \times 10^{-5} < R < 6.0 \times 10^{-4} \cdots (1)$$

これは、熱抵抗 R が  $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  以下の場合、鑄型内での抜熱量が大きくなり、鑄片に表面割れが発生しやすくなる。一方、熱抵抗 R が  $6.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  以上の場合、鑄型内での抜熱量が不足し、異種物質充填部 3 を設置した効果が軽減して鑄片表面割れが発生しやすくなるのみならず、鑄型銅板の表面温度が高くなりすぎ、凝固シェル厚みが不足し、これに起因するブレークアウトの発生が懸念される。

#### 【0037】

また、図 5 に、円形凹溝の内部に充填される金属または非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  ( $\text{W} / (\text{m} \times \text{K})$ ) の指標として、鑄型銅板の熱伝導率  $\lambda_{cu}$  ( $\text{W} / (\text{m} \times \text{K})$ ) と充填される金属または非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  ( $\text{W} / (\text{m} \times \text{K})$ ) との比 ( $\lambda_{cu} / \lambda_{ma}$ ) を用い、この比 ( $\lambda_{cu} / \lambda_{ma}$ ) が鑄片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す。

#### 【0038】

図 5 に示すように、比 ( $\lambda_{cu} / \lambda_{ma}$ ) が下記の (2) 式、または (3) 式を満足する場合に、鑄片表面割れ個数密度が安定して 0.40 個以下になることがわかった。

#### 【0039】

$$0.2 < \lambda_{cu} / \lambda_{ma} < 1.0 \cdots (2)$$

$$1.0 < \lambda_{cu} / \lambda_{ma} < 20.0 \cdots (3)$$

(2) 式は、円形凹溝の内部に充填される金属または非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  が鑄型銅板の熱伝導率  $\lambda_{cu}$  よりも大きい場合であり、(3) 式は、熱伝導率  $\lambda_{cu}$  が熱伝導率  $\lambda_{ma}$  よりも大きい場合である。

#### 【0040】

比 ( $\lambda_{cu} / \lambda_{ma}$ ) が 0.2 以下の場合、異種物質充填部 3 を設置した箇所における熱流束が大きくなり、凝固シェルの抜熱量が過多になりすぎ、鑄片に表面割れが発生するおそれがある。逆に、比 ( $\lambda_{cu} / \lambda_{ma}$ ) が 20.0 以上の場合、凝固シェルの緩冷却化が促進されすぎる結果、異種物質充填部 3 を設置した効果が軽減して鑄片表面割れが発生しやすくなるのみならず、凝固シェルの厚み不足によるブレークアウトが懸念される。

#### 【0041】

以上説明したように、本実施形態に係る連続鑄造用鑄型においては、異種物質充填部 3 の設置位置における鑄型銅板表面と鑄型冷却水の流路である鑄型銅板のスリット 4 との間の熱抵抗 R が上記の (1) 式の範囲であり、且つ、鑄型銅板の熱伝導率  $\lambda_{cu}$  と円形凹溝の内部に充填される金属または非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  がとの比 ( $\lambda_{cu} / \lambda_{ma}$ ) が上記の (2) 式または (3) 式の範囲であることが必要である。

#### 【0042】

10

20

30

40

50

本実施形態に係る連続鋳造用鋳型において、上記の(1)～(3)式を満足する限り、円形凹溝に充填使用する金属(以下、「充填金属」とも記載する)及び円形凹溝に充填使用する非金属(以下、「充填非金属」とも記す)は、特にその種類を特定しなくてよい。但し、参考までに充填金属として使用可能な金属の例を挙げれば、ニッケル(Ni、熱伝導率;  $90\text{ W}/(\text{m}\times\text{K})$ )、クロム(Cr、熱伝導率;  $67\text{ W}/(\text{m}\times\text{K})$ )、コバルト(Co、熱伝導率;  $70\text{ W}/(\text{m}\times\text{K})$ )、及び、これら金属を含有する合金などが好適である。これらの金属や合金は、銅合金よりも熱伝導率が低く、また、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。また、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することもできる。純銅を充填した場合には、異種物質充填部3を設置した部位の方が鋳型銅板の部位よりも熱抵抗が小さくなる。

10

#### 【0043】

また、円形凹溝に充填使用する充填非金属としては、BN、AlN、ZrO<sub>2</sub>などのセラミックスが好適である。これらは、低熱伝導率であるので、充填非金属として好適である。

#### 【0044】

図1及び図2では、異種物質充填部3の鋳型長辺銅板1の内壁面における形状が円形である例を示したが、当該形状は円形に限られない。例えば楕円形のような、所謂「角」を有していない、円形に近い形状であれば、どのような形状であってもよい。以下、円形に近いものを「擬似円形」と称する。異種物質充填部3の形状が擬似円形の場合には、異種物質充填部3を形成させるために、鋳型長辺銅板1の内壁面に加工される凹溝を「擬似円形凹溝」と称する。

20

#### 【0045】

擬似円形とは、例えば楕円形や、角部を円や楕円とする長方形などの角部を有していない形状であり、更には、花びら模様のような形状であってもよい。擬似円形の大きさは、擬似円形の面積から求められる円相当径で評価する。この擬似円形の円相当径dは下記の(9)式で算出される。

#### 【0046】

$$\text{円相当径 } d = (4 \times S_{ma} / \pi)^{1/2} \dots (9)$$

但し、(9)式において、 $S_{ma}$ は異種物質充填部3の面積( $\text{mm}^2$ )である。

30

#### 【0047】

特許文献3及び特許文献4のように、縦溝或いは格子溝を施し、この溝に充填金属または充填非金属を配置した場合には、充填金属または充填非金属と鋳型銅板との境界面及び格子部の直交部において、充填金属または充填非金属と銅との熱歪差による応力が集中し、鋳型銅板表面に割れが発生するという問題が起こる。これに対して、本実施形態に係る連続鋳造用鋳型は、異種物質充填部3の形状を円形または擬似円形にしている。これにより、充填金属または充填非金属と銅との境界面は曲面状となるので、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いという利点が発現する。

#### 【0048】

異種物質充填部3の直径d及び円相当径dは、2～20mmであることが好ましい。異種物質充填部3の直径d及び円相当径dを2mm以上とすることで、異種物質充填部3における熱流束の低下が十分となり、鋳片の表面割れ抑制効果を得ることができる。また、2mm以上とすることで、充填金属を鍍金処理や溶射処理によって円形凹溝2や擬似円形凹溝(図示せず)の内部に充填することが容易となる。一方、異種物質充填部3の直径及び円相当径を20mm以下とすることで、異種物質充填部3における熱流束の低下が抑制され、つまり、異種物質充填部3での凝固遅れが抑制されて、その位置での凝固シェルへの応力集中が防止され、凝固シェルでの表面割れ発生を抑制できる。即ち、直径及び円相当径が20mmを超えると表面割れが増加する可能性があることから、異種物質充填部3の直径及び円相当径は20mm以下にすることが好ましい。

40

#### 【0049】

50

異種物質充填部 3 の充填厚み  $H$  は  $0.5 \text{ mm}$  以上とすることが好ましい。充填厚み  $H$  を  $0.5 \text{ mm}$  以上とすることで、異種物質充填部 3 における熱流束の低下が十分となり、鋳片の表面割れ抑制効果を得ることができる。

#### 【0050】

また、異種物質充填部 3 の充填厚み  $H$  は、異種物質充填部 3 の直径  $d$  以下及び円相当径  $d$  以下にすることが好ましい。充填厚み  $H$  を異種物質充填部 3 の直径  $d$  及び円相当径  $d$  と同等、またはそれらよりも小さくするので、鍍金処理や溶射処理による円形凹溝及び擬似円形凹溝への充填金属の充填が容易となり、且つ、充填金属と鋳型銅板との間に隙間や割れが生じることもない。充填金属と鋳型銅板との間に隙間や割れが生じた場合には、充填金属の亀裂や剥離が生じ、鋳型寿命の低下、鋳片の割れ、更には拘束性ブレークアウトの  
10

#### 【0051】

異種物質充填部同士の間隔  $P$  は、異種物質充填部 3 の直径  $d$  及び円相当径  $d$  の  $0.25$  倍以上であることが好ましい。ここで、異種物質充填部同士の間隔  $P$  とは、図 1 に示すように、隣り合う異種物質充填部 3 の端部間の最短距離である。異種物質充填部同士の間隔  $P$  を「 $0.25 \times d$ 」以上とすることで、間隔が十分に大きく、異種物質充填部 3 における熱流束と銅合金部（異種物質充填部 3 が形成されていない部位）の熱流束との差が大きくなり、鋳片の表面割れ抑制効果を得ることができる。異種物質充填部同士の間隔  $P$  の上限値は特に定めなくてよいが、間隔  $P$  が大きくなると、異種物質充填部 3 の面積率が低下するので「 $2.0 \times d$ 」以下にすることが好ましい。  
20

#### 【0052】

異種物質充填部 3 が配置された領域内の鋳型銅板内壁面の面積  $A \text{ (mm}^2\text{)}$  に対する、全ての異種物質充填部 3 の面積の総和  $B \text{ (mm}^2\text{)}$  の比である面積率  $\varepsilon$  ( $\varepsilon = (B/A) \times 100$ ) は、 $10\%$  以上であることが好ましい。面積率  $\varepsilon$  を  $10\%$  以上確保することで、熱流束の小さい異種物質充填部 3 の占める面積が確保され、異種物質充填部 3 と銅合金部とで熱流束差が得られ、鋳片の表面割れ抑制効果を安定して得ることができる。

#### 【0053】

異種物質充填部 3 の配列は、図 1 に示すような千鳥配列が好ましいが、千鳥配列に限らず、異種物質充填部同士の上記間隔  $P$  を満たす配列であれば、どのような配列でもよい。

#### 【0054】

本実施形態に係る連続鋳造用鋳型においては、図 6 に示すように、異種物質充填部 3 を形成させた鋳型銅板の内壁面に、凝固シェルによる磨耗や熱履歴による鋳型表面の割れを抑制することを目的として、鍍金層 6 を設けることが好ましい。この鍍金層 6 は、一般的に用いられるニッケルまたはニッケルを含有する合金、例えば、ニッケルコバルト合金 ( $\text{Ni-Co}$  合金) やニッケルクロム合金 ( $\text{Ni-Cr}$  合金) などを鍍金処理することで得られる。  
30

#### 【0055】

図 7 に、鋳型銅板内壁面の全面に鍍金層 6 を形成する際に、鋳型銅板を構成する銅合金及び鍍金層 6 を構成する金属を種々変更し、鋳型銅板の熱伝導率  $\lambda_{\text{Cu}}$  と鍍金層の熱伝導率  $\lambda_{\text{coating}}$  との比 ( $\lambda_{\text{Cu}}/\lambda_{\text{coating}}$ ) が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す。図 7 に示すように、比 ( $\lambda_{\text{Cu}}/\lambda_{\text{coating}}$ ) が下記の (4) 式の範囲の場合に、鋳片表面割れが減少することがわかった。  
40

#### 【0056】

$$0.5 < \lambda_{\text{Cu}} / \lambda_{\text{coating}} < 15.0 \cdots (4)$$

比 ( $\lambda_{\text{Cu}}/\lambda_{\text{coating}}$ ) が  $0.5$  以下の場合には、熱抵抗が小さいために、鋳片に表面割れが生じ、好ましくない。一方、比 ( $\lambda_{\text{Cu}}/\lambda_{\text{coating}}$ ) が  $15.0$  以上になると、鍍金層の熱抵抗が高く、連続鋳造中に鍍金層の温度が高くなりすぎて、鍍金層の剥離などが懸念される。また、鍍金層の熱抵抗が高くなり、異種物質充填部 3 を設置した効果が減少し、鋳片表面に割れが生成する。

#### 【0057】

10

20

30

40

50

また、図 8 に、鋳型銅板厚み  $T_{Cu}$  と鍍金層厚み  $T_{coating}$  との比 ( $T_{Cu}/T_{coating}$ ) が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す。ここで、鋳型銅板厚み  $T_{Cu}$  とは、図 6 に示すように、鋳型銅板の表面からスリット 4 の底 4 a までの距離である。図 8 に示すように、比 ( $T_{Cu}/T_{coating}$ ) が下記の (5) 式の範囲の場合に、鋳片表面割れが減少することがわかった。

#### 【0058】

$$4.0 < T_{Cu}/T_{coating} < 250.0 \cdots (5)$$

比 ( $T_{Cu}/T_{coating}$ ) が 4.0 以下の場合、鍍金層が相対的に厚く、鍍金層の熱抵抗が高くなり、異種物質充填部 3 を設置した効果が減少し、鋳片表面に割れが生成する。また、鍍金層が相対的に厚くなることから、凝固シェルの抜熱量が不足し、凝固シェル厚みの不足によるブレークアウトが懸念されるので好ましくない。一方、比 ( $T_{Cu}/T_{coating}$ ) が 250 以上の場合、鍍金層厚みが薄く、鍍金層の剥離などが懸念されるので好ましくない。また、鍍金層厚みが薄い場合、鋳型全体の熱抵抗が小さくなるために、鋳片に表面割れが発生しやすい。尚、鍍金層厚み  $T_{coating}$  が上記 (5) 式の関係を満足する限り、鍍金層 6 は鋳型上端から下端まで同一の厚みであっても、上端から下端にかけて厚みが異なってもよい。

#### 【0059】

このように構成される連続鋳造用鋳型を用いて鋳片を連続鋳造するにあたり、特に、表面割れ感受性が高い、炭素含有量が 0.08 ~ 0.17 質量% の中炭素鋼のスラブ鋳片 (厚み; 200 mm 以上) を連続鋳造する際に使用することが好ましい。従来、中炭素鋼のスラブ鋳片を連続鋳造する場合は、鋳片の表面割れを抑制するために、鋳片引き抜き速度を低速化することが一般的であるが、本実施形態に係る連続鋳造用鋳型を適用することで鋳片表面割れが防止できるので、1.5 m/min 以上の鋳片引き抜き速度であっても、表面割れの無い、または表面割れの著しく少ない鋳片を連続鋳造することが実現される。

#### 【0060】

但し、その際に、鋳型銅板の熱伝導率、円形凹溝または擬似円形凹溝の内部に充填される金属または非金属の熱伝導率、及び鋳型銅板のスリットの総断面積に応じて鋳型冷却水の流量が下記の (6) 式または (7) 式を満足するように、鋳型冷却水の流量を制御して溶鋼を連続鋳造する必要がある。

#### 【0061】

$$3 < (Q/S) \times (\lambda_{Cu}/\lambda_{ma}) < 150 \text{ (但し、}\lambda_{Cu} > \lambda_{ma}\text{)} \cdots (6)$$

$$3 < (Q/S) \times (\lambda_{ma}/\lambda_{Cu}) < 120 \text{ (但し、}\lambda_{Cu} < \lambda_{ma}\text{)} \cdots (7)$$

(6) 式及び (7) 式において、 $Q$  は鋳型冷却水の流量 ( $m^3/sec$ )、 $S$  は鋳型銅板のスリットの総断面積 ( $m^2$ )、 $\lambda_{Cu}$  は鋳型銅板の熱伝導率 ( $W/(m \times K)$ )、 $\lambda_{ma}$  は円形凹溝または擬似円形凹溝の内部に充填される金属または非金属の熱伝導率 ( $W/(m \times K)$ ) である。

#### 【0062】

図 9 に、鋳型銅板の熱伝導率  $\lambda_{Cu}$  が充填金属または充填非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  よりも大きい条件下で、鋳型冷却水の流量  $Q$ 、鋳型銅板のスリットの総断面積  $S$ 、鋳型銅板の熱伝導率  $\lambda_{Cu}$ 、充填金属または充填非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  を種々変更し、「 $(Q/S) \times (\lambda_{Cu}/\lambda_{ma})$ 」の値が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す。図 9 に示すように、熱伝導率  $\lambda_{Cu}$  が熱伝導率  $\lambda_{ma}$  よりも大きい条件下では、「 $(Q/S) \times (\lambda_{Cu}/\lambda_{ma})$ 」が上記 (6) 式の範囲の場合に、鋳片の表面割れが抑制されることが確認できた。

#### 【0063】

図 10 は、鋳型銅板の熱伝導率  $\lambda_{Cu}$  が充填金属または充填非金属の熱伝導率  $\lambda_{ma}$  よりも小さい条件下で、「 $(Q/S) \times (\lambda_{ma}/\lambda_{Cu})$ 」の値が鋳片表面割れに及ぼす影響を調査した結果を示す図である。図 10 に示すように、熱伝導率  $\lambda_{Cu}$  が熱伝導率  $\lambda_{ma}$  よりも小さい条件下では、「 $(Q/S) \times (\lambda_{ma}/\lambda_{Cu})$ 」が上記 (7) 式の範囲の場合に、鋳片の表面割れが抑制されることが確認できた。

## 【0064】

「 $(Q/S) \times (\lambda_{Cu} / \lambda_{ma})$ 」または「 $(Q/S) \times (\lambda_{ma} / \lambda_{Cu})$ 」が3以下の場合は、鑄型内での冷却が弱くなりすぎ、異種物質充填部3を設置した効果が減少し、鑄片表面に割れが生成する。また、凝固シェルの抜熱量が不足し、凝固シェル厚みの不足によるブレイクアウトが懸念される。一方、「 $(Q/S) \times (\lambda_{Cu} / \lambda_{ma})$ 」が150以上の場合、及び、「 $(Q/S) \times (\lambda_{ma} / \lambda_{Cu})$ 」が120以上の場合は、鑄型内での冷却が強くなりすぎ、異種物質充填部3の効果が希釈されて鑄片に表面割れが生成する。

## 【0065】

以上説明したように、本実施形態に係る連続鑄造用鑄型は、異種物質充填部3を形成する物質として鑄型銅板の熱伝導率に対する比率が所定の範囲である金属または非金属を使用し、異種物質充填部3の設置位置における鑄型銅板表面と鑄型冷却水の流路である鑄型銅板のスリットとの間の熱抵抗Rが所定の値である複数個の異種物質充填部3を、メニスカス位置を含んでメニスカス近傍の連続鑄造用鑄型の幅方向及び鑄造方向に設置するので、メニスカス近傍の鑄型幅方向及び鑄造方向における連続鑄造用鑄型の熱抵抗が周期的に増減し、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鑄造用鑄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、 $\delta/\gamma$ 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り、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、凝固シェル表面における割れの発生が抑制される。

## 【0066】

尚、図1では、同一形状の異種物質充填部3を鑄造方向または鑄型幅方向に設置した例を示したが、異種物質充填部3の形状は同一でなくてもよい。但し、いずれの異種物質充填部3の直径dまたは円相当径dは2～20mmであることが好ましい。また、図2では、充填厚みHが同一の異種物質充填部3を鑄造方向に設置した例を示したが、鑄造方向または鑄型幅方向において、充填厚みHは同一でなくてよく、個々の異種物質充填部3で充填厚みHが異なってもよい。但し、いずれの異種物質充填部3の充填厚みHも0.5mm以上であることが好ましい。また更に、図1では、鑄造方向または鑄型幅方向に同一間隔で異種物質充填部3を設置した例を示したが、異種物質充填部3を設置する間隔は、同一でなくてもよい。但し、この場合も、異種物質充填部同士の間隔Pは異種物質充填部3の直径d及び円相当径dの0.25倍以上であることが好ましい。

## 【0067】

また、上記説明はスラブ鑄片の連続鑄造に関して行ったが、本実施形態に係る連続鑄造用鑄型はスラブ鑄片の連続鑄造に限定されるものではなく、ブルーム鑄片やビレット鑄片の連続鑄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】

## 【0068】

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異種物質充填部が設置された水冷式銅合金製鑄型または水冷式純銅製鑄型を用いて連続鑄造し、鑄造後のスラブ鑄片の表面割れを調査する試験を行った。用いた水冷式銅合金製鑄型または水冷式純銅製鑄型は、長辺長さが1.8m、短辺長さが0.22mの内面空間サイズを有する鑄型である。

## 【0069】

使用した水冷式銅合金製鑄型または水冷式純銅製鑄型の上端から下端までの長さは950mm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100mm下方位置に設定し、鑄型上端から60mm下方の位置から、鑄型上端から400mm下方の位置までの領域に異種物質充填部を配置した。

## 【0070】

鋳型銅板としては、熱伝導率が $70 \sim 380 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ である純銅または銅合金を用い、異種物質充填部の充填金属または充填非金属としては、純ニッケル（熱伝導率； $90 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、コバルト（熱伝導率； $65 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、ロジウム（熱伝導率； $180 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、バナジウム（熱伝導率； $30 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、パラジウム（熱伝導率； $60 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、タンタル（熱伝導率； $55 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、Ni-Co（熱伝導率； $65 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、ジルコニウム（熱伝導率； $15 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、アンチモン（熱伝導率； $22 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、チタン（熱伝導率； $20 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、及び、銅合金（熱伝導率； $180$ 、 $360$ 、 $380 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）を使用した。

10

## 【0071】

異種物質充填部の設置後、鋳型銅板内壁面の全面に、Ni-Co合金（熱伝導率； $65$ 、 $67 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、タングステン（熱伝導率； $90 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、チタン（熱伝導率； $20 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、Ni-Zn合金（熱伝導率； $30 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、タングステン（熱伝導率； $260 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、Ni-Cr合金（熱伝導率； $10 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、金（熱伝導率； $300 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、Ag-Cu（熱伝導率； $360 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、ジルコニウム（熱伝導率； $16 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）、ニオブ（熱伝導率； $50 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$ ）を鍍金し、鍍金層を施工した。

## 【0072】

連続鋳造終了後、鋳片表面の $21 \text{ m}^2$ 以上の面積を染色浸透探傷検査によって検査し、 $1.0 \text{ mm}$ 以上の長さの表面割れの個数を測定し、その総和を鋳片測定面積で除算して得られる鋳片表面割れ個数密度を用いて、表面割れの発生状況を評価した。

20

## 【0073】

表1に、本発明例1～11、比較例1～6及び従来例の連続鋳造鋳型における鋳型銅板の熱伝導率、充填金属または充填非金属の熱伝導率、鍍金層の熱伝導率及び厚み、鋳型冷却水の流量、スリットの総断面積などを示す。尚、比較例は、異種物質充填部を有する水冷式銅合金製鋳型であるものの、熱抵抗 $R$ 及び比 $(\lambda_{\text{Cu}} / \lambda_{\text{ma}})$ の範囲を満足しない条件で異種物質充填部を有する連続鋳造用鋳型で鋳造した試験、従来例は、異種物質充填部を有していない水冷式銅合金製鋳型を使用して鋳造した試験である。

## 【0074】

30

【表 1】

|        | 熱抵抗<br>$R$<br>( $m^2 \times K/W$ ) | 熱伝導率<br>$\lambda_{Cu}$<br>( $W/(m \times K)$ ) | 熱伝導率<br>$\lambda_{ma}$<br>( $W/(m \times K)$ ) | 熱伝導率<br>$\lambda_{coating}$<br>( $W/(m \times K)$ ) | 銅板厚み<br>$T_{Cu}$<br>( $m$ ) | 鍍金層厚み<br>$T_{coating}$<br>( $m$ ) | 冷却水<br>流量 $Q$<br>( $m^3/sec$ ) | スリット総<br>断面積<br>$S(m^2)$ | $\lambda_{Cu}/$<br>$\lambda_{ma}$ | $\lambda_{Cu}/$<br>$\lambda_{coating}$ | $T_{Cu}/$<br>$T_{coating}$ | $(Q/S) \times$<br>$(\lambda_{Cu}/\lambda_{ma})$ | $(Q/S) \times$<br>$(\lambda_{Cu}/\lambda_{coating})$ |
|--------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 従来例    | —                                  | 280                                            | —                                              | 67                                                  | 0.025                       | 0.00020                           | 0.075                          | 0.010                    | —                                 | 4.18                                   | 125                        | —                                               | —                                                    |
| 本発明例1  | 0.000114                           | 280                                            | 90                                             | 67                                                  | 0.025                       | 0.00020                           | 0.075                          | 0.010                    | 3.1                               | 4.18                                   | 125                        | 23.3                                            | —                                                    |
| 本発明例2  | 0.000117                           | 300                                            | 65                                             | 65                                                  | 0.025                       | 0.00020                           | 0.067                          | 0.008                    | 4.6                               | 4.62                                   | 125                        | 38.7                                            | —                                                    |
| 本発明例3  | 0.000183                           | 150                                            | 180                                            | 90                                                  | 0.020                       | 0.00200                           | 0.063                          | 0.010                    | 0.8                               | 1.67                                   | 10                         | —                                               | 7.6                                                  |
| 本発明例4  | 0.000142                           | 100                                            | 360                                            | 65                                                  | 0.010                       | 0.00200                           | 0.042                          | 0.008                    | 0.3                               | 1.54                                   | 5                          | —                                               | 18.9                                                 |
| 本発明例5  | 0.000533                           | 360                                            | 30                                             | 20                                                  | 0.018                       | 0.00300                           | 0.050                          | 0.002                    | 12.0                              | 18.00                                  | 6                          | 300.0                                           | —                                                    |
| 本発明例6  | 0.000157                           | 250                                            | 60                                             | 30                                                  | 0.010                       | 0.00300                           | 0.067                          | 0.120                    | 4.2                               | 8.33                                   | 3                          | 2.3                                             | —                                                    |
| 本発明例7  | 0.000143                           | 120                                            | 90                                             | 260                                                 | 0.015                       | 0.00025                           | 0.042                          | 0.012                    | 1.3                               | 0.46                                   | 60                         | 4.7                                             | —                                                    |
| 本発明例8  | 0.000245                           | 150                                            | 65                                             | 65                                                  | 0.025                       | 0.00009                           | 0.072                          | 0.010                    | 2.3                               | 2.31                                   | 278                        | 16.6                                            | —                                                    |
| 本発明例9  | 0.000113                           | 210                                            | 90                                             | 10                                                  | 0.015                       | 0.00025                           | 0.117                          | 0.001                    | 2.3                               | 21.00                                  | 60                         | 273.0                                           | —                                                    |
| 本発明例10 | 0.000260                           | 80                                             | 55                                             | 300                                                 | 0.015                       | 0.00005                           | 0.058                          | 0.010                    | 1.5                               | 0.27                                   | 300                        | 8.4                                             | —                                                    |
| 本発明例11 | 0.000280                           | 150                                            | 65                                             | 360                                                 | 0.030                       | 0.00010                           | 0.013                          | 0.009                    | 2.3                               | 0.42                                   | 300                        | 3.3                                             | —                                                    |
| 比較例1   | 0.001419                           | 380                                            | 15                                             | 16                                                  | 0.030                       | 0.00010                           | 0.083                          | 0.009                    | 25.3                              | 23.75                                  | 300                        | 233.6                                           | —                                                    |
| 比較例2   | 0.000624                           | 70                                             | 380                                            | 360                                                 | 0.040                       | 0.00010                           | 0.117                          | 0.001                    | 0.2                               | 0.19                                   | 400                        | —                                               | 635.1                                                |
| 比較例3   | 0.001425                           | 350                                            | 15                                             | 16                                                  | 0.030                       | 0.00010                           | 0.042                          | 0.010                    | 23.3                              | 21.88                                  | 300                        | 98.0                                            | —                                                    |
| 比較例4   | 0.000979                           | 380                                            | 22                                             | 50                                                  | 0.025                       | 0.00020                           | 0.067                          | 0.010                    | 17.3                              | 7.60                                   | 125                        | 115.7                                           | —                                                    |
| 比較例5   | 0.001057                           | 380                                            | 20                                             | 50                                                  | 0.020                       | 0.00020                           | 0.010                          | 0.120                    | 19.0                              | 7.60                                   | 100                        | 1.6                                             | —                                                    |
| 比較例6   | 0.000388                           | 70                                             | 380                                            | 20                                                  | 0.020                       | 0.00100                           | 0.012                          | 0.110                    | 0.2                               | 3.50                                   | 20                         | —                                               | 0.6                                                  |

【0075】

また、図11に、本発明例1～11、比較例1～6及び従来例におけるスラブ鋳片の鋳片表面割れ個数密度を比較して示す。

【0076】

図 1 1 から明らかなように、本発明例 1 ～ 1 1 では、鑄片表面割れ個数密度はいずれも  $0.4 \text{ 個}/\text{m}^2$  以下であり、鑄片の表面割れが抑制されることが確認できた。特に、比  $(\lambda_{\text{Cu}}/\lambda_{\text{coating}})$  及び比  $(T_{\text{Cu}}/T_{\text{coating}})$  が好適な範囲であり、且つ、鑄型冷却水の流量が上記の (6) 式または (7) 式を満足する本発明例 1 ～ 4 では、鑄片の表面割れが抑制されることが確認できた。

#### 【0077】

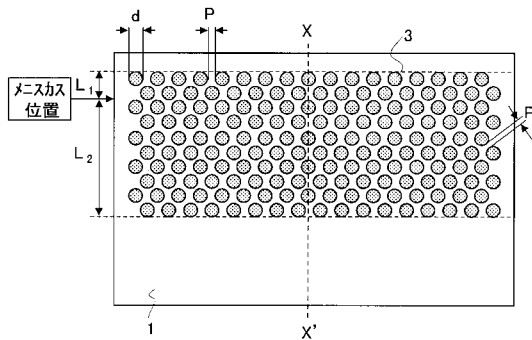
これに対して、比較例 1 ～ 6 は、従来例に比べると鑄片の表面割れは減少したが、本発明例 1 ～ 1 1 に比較すると鑄片表面割れが多発した。

#### 【符号の説明】

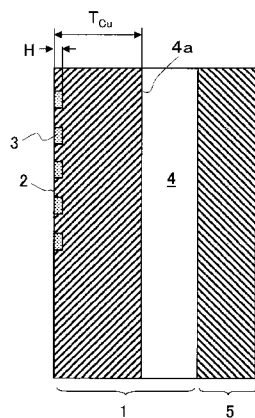
#### 【0078】

- 1 鑄型長辺銅板
- 2 円形凹溝
- 3 異種物質充填部
- 4 スリット
- 5 バックプレート
- 6 鍍金層

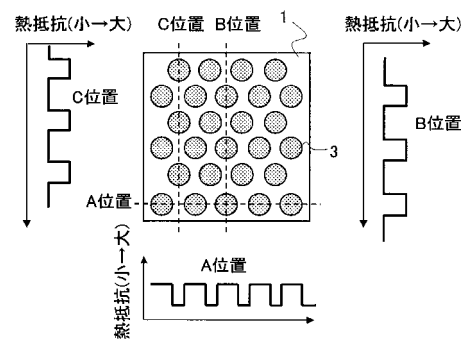
【図 1】



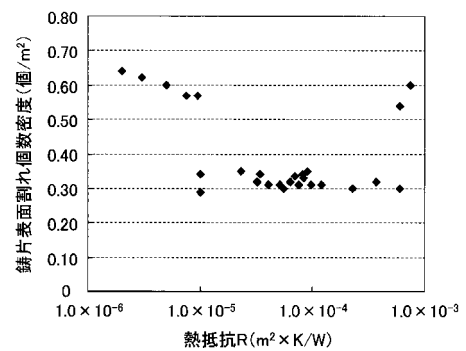
【図 2】



【図 3】

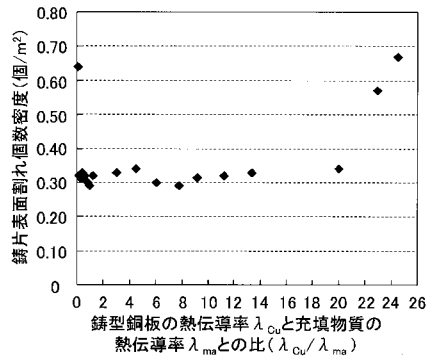


【図 4】

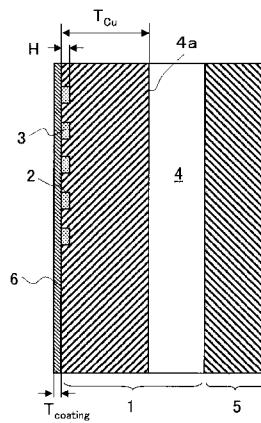




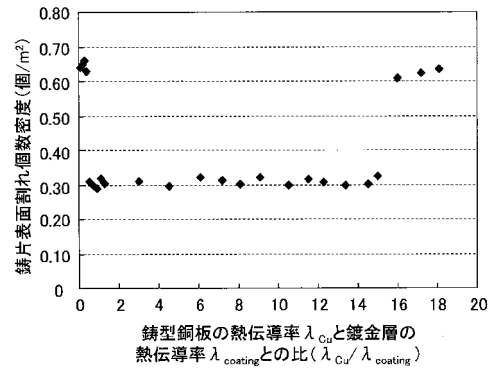
【図 5】



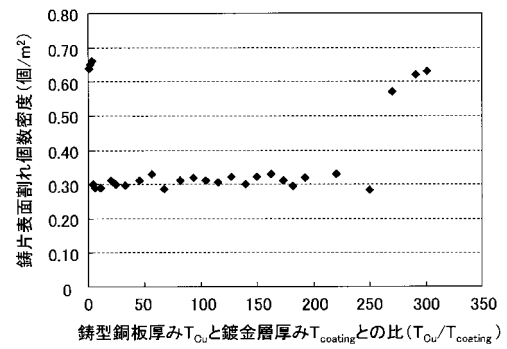
【図 6】



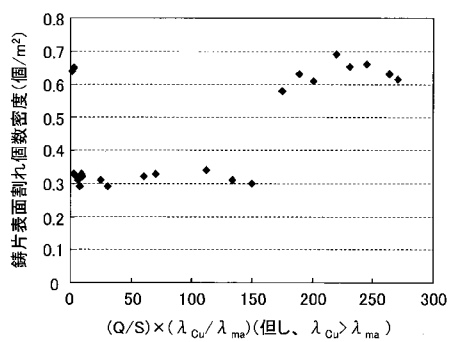
【図 7】



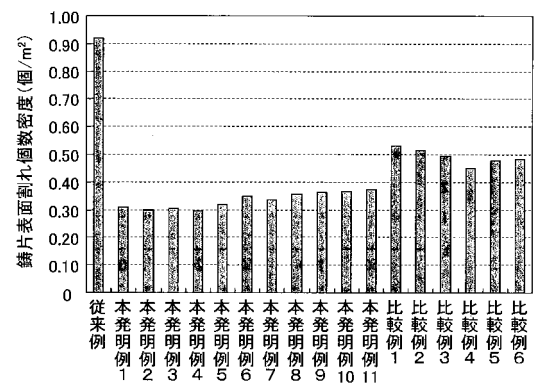
【図 8】



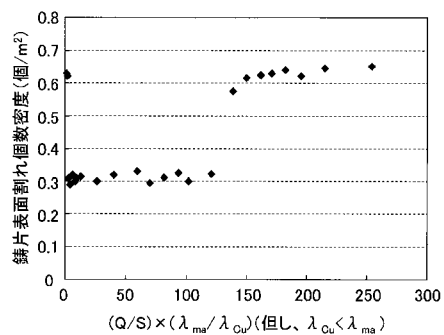
【図 9】



【図 1 1】



【図 1 0】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 古米 孝平  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- (72)発明者 荒牧 則親  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- (72)発明者 岩田 直道  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- (72)発明者 三木 祐司  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- Fターム(参考) 4E004 AA07 AB01 AB06