

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7355285号
(P7355285)

(45)発行日 令和5年10月3日(2023.10.3)

(24)登録日 令和5年9月25日(2023.9.25)

(51)国際特許分類

F I

B 2 2 D 11/124 (2006.01)

B 2 2 D

11/124

N

B 2 2 D 11/128 (2006.01)

B 2 2 D

11/124

L

B 2 2 D 11/20 (2006.01)

B 2 2 D

11/128

3 5 0 A

B 2 2 D 11/22 (2006.01)

B 2 2 D

11/20

C

B 2 2 D

11/22

B

請求項の数 5 (全20頁)

(21)出願番号 特願2023-538740(P2023-538740)

(86)(22)出願日 令和5年3月23日(2023.3.23)

(86)国際出願番号 PCT/JP2023/011463

審査請求日 令和5年6月22日(2023.6.22)

(31)優先権主張番号 特願2022-51592(P2022-51592)

(32)優先日 令和4年3月28日(2022.3.28)

(33)優先権主張国・地域又は機関

日本国(JP)

早期審査対象出願

(73)特許権者 000001258

J F E スチール株式会社

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号

(74)代理人 110001542

弁理士法人銀座マロニエ特許事務所

(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 入江 脩平

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 松井 章敏

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 杉原 広和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 鋼の連続鑄造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

連続鑄造機内の鑄片引抜き方向に沿って、鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が0.8以下である始点から、前記鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が前記始点での固相率よりも大きくかつ1.0以下である終点までの範囲を第1区間とし、前記終点での厚み方向に沿った固相率の平均値が1.0以下である、前記第1区間よりも下流に位置する区間を第2区間とするとき、

前記第1区間内における鑄片表面積当たりの水量密度を、 $50 \sim 2000 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ の範囲内で、鑄片の冷却を行い、

任意選択的に、前記第2区間における、鑄片表面積当たりの水量密度を $50 \sim 300 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ の範囲内にて鑄片の冷却を行う、鋼の連続鑄造方法。

【請求項2】

少なくとも、前記第1区間の終了時点から前記第2区間通過の間においては、鑄片の表面温度が 200°C 以下である核沸騰状態を維持しながら鑄造し、凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配を $1.7 \sim 3.5 \text{ K/mm}$ とする、請求項1に記載の鋼の連続鑄造方法。

【請求項3】

前記第1区間及び前記第2区間は、連続鑄造機内での水平方向セグメント、もしくは垂直方向セグメントに限定する領域内に設置する、請求項1または2に記載の鋼の連続鑄造

方法。

【請求項 4】

前記第 1 区間及び前記第 2 区間において、軽圧下を付与し、 $0.3 \sim 2.0 \text{ mm/min}$ の圧下速度で、鑄片長辺面を圧下する、請求項 1 または 2 に記載の鋼の連続鑄造方法。

【請求項 5】

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により、鑄片長辺面を $2 \sim 20 \text{ mm}$ のバルジング総量でバルジングさせ、その後、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て鑄片を軽圧下する、請求項 1 または 2 に記載の鋼の連続鑄造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鋼の連続鑄造方法に関し、特に鑄片内に発生する中心偏析の低減に有効な鋼の連続鑄造方法について提案する。

【背景技術】

【0002】

一般に、鋼の凝固過程では、炭素や燐、硫黄、マンガンなどの溶質元素が、凝固時の再分配によって未凝固の液相側に濃化され、その結果として、デンドライト樹間には、ミクロ偏析が形成されることが知られている。

【0003】

また、連続鑄造機による鋼の鑄造時、凝固しつつある連続鑄造鑄片（以降、単に「鑄片」ともいう）は、凝固収縮や熱収縮、連続鑄造機のロール間で発生する凝固シェルのバルジングなどによって、鑄片の厚み中心部に空隙が形成されたり、負圧が生じたりすることがある。そのために該鑄片の厚み中心部には溶鋼が吸引されることとなる。しかし、凝固末期の未凝固層には十分な量の溶鋼が存在しないために、上述した溶質元素が濃縮したデンドライト樹間の溶鋼が厚み中心部に吸引されて移動し、そこで凝固するようになる。このようにして形成された鑄片厚み中心部の偏析スポットは、溶質元素の濃度が溶鋼の初期濃度に比べると格段に高い値となる。この現象は、一般に「マクロ偏析」と呼ばれており、その存在部位から「中心偏析」とも呼ばれる。

【0004】

鑄片の前記中心偏析は、鋼材の品質、たとえば原油や天然ガスなどの輸送用ラインパイプ材の品質を著しく低下させることになる。そうした鋼材の品質低下は、例えば、腐食反応により鋼内部に侵入した水素が、中心偏析部で生成したマンガン硫化物（ MnS ）やニオブ炭化物（ NbC ）などの周りに拡散して集積し、その内圧に起因した割れを発生させることによって引き起こされるものである。また、こうした中心偏析部は、高い濃度の溶質元素により硬質化しているので、上記割れはさらに周囲に伝播して拡張する。この割れが水素誘起割れ（ $\text{HIC: Hydrogen Induced Cracking}$ ）と呼ばれているものである。したがって、鑄片の厚み中心部の中心偏析を低減させることは、鋼製品の品質向上を図る上で、極めて重要である。

【0005】

従来、連続鑄造工程から圧延工程に至るまでの間における、鑄片の中心偏析の低減や無害化の技術が多数提案されている。例えば、特許文献 1 及び特許文献 2 には、連続鑄造機内において、未凝固層を有する凝固末期の鑄片を、鑄片支持ロールによって凝固収縮量と熱収縮量との和に相当する程度の圧下量で徐々に圧下しながら鑄造する技術が提案されている。この技術は、軽圧下法と呼ばれているものである。こうした軽圧下法では、鑄造方向に並んだ複数対の鑄片支持ロールを用いて鑄片を引き抜く際に、凝固収縮量と熱収縮量との和に見合った圧下量で鑄片を徐々に圧下して未凝固層の体積を減少させることにより、鑄片中心部における空隙及び負圧部の形成を防止するようにしている。このような機構（軽圧下法）の採用により、デンドライト樹間の濃化溶鋼が、デンドライト樹間から鑄片の厚み中心部に吸引されることを防止し、鑄片内に発生する中心偏析を軽減するのである。

10

20

30

40

50

【0006】

また、厚み中心部のデンドライト組織の形態と中心偏析との間には、密接な関係があることが知られている。例えば、特許文献3には、連続鑄造機の二次冷却帯の鑄込み方向における特定位置の比水量を 0.5 L/kg-steel 以上に設定することで、凝固組織の微細化及び等軸晶化を促進し、中心偏析を低減する技術が提案されている。さらに、特許文献4では、圧下条件及び冷却条件を適切に調整して、鑄片厚み中心部のデンドライト1次アーム間隔を 1.6 mm 以下とすることで、中心偏析を低減する技術を提案している。

【0007】

一方、鑄片の表面割れを防止することを目的とする技術ではあるが、特許文献5では、連続鑄造機内での鑄片の温度制御の手法として、鑄片表面を加熱昇温する技術を提案している。この特許文献5に提案の技術では、連続鑄造機の矯正帯内で鑄片表層を平均 30°C/min 以上で昇温することにより、鑄片矯正時の表面割れを防止している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開平08-132203号公報

特開平08-192256号公報

特開平08-224650号公報

特開2016-28827号公報

特開2008-100249号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献1及び特許文献2に記載の発明では、軽圧下法を採用することにより中心偏析を低減できるとしている。しかしながら、これらの技術では、近年のラインパイプなどの鋼管に求められているような品質レベルになるまでその中心偏析を低減させる方法としては十分ではない。

【0010】

また、特許文献3及び特許文献4に記載の発明では、軽圧下法を採用することに加えて、二次冷却条件を調整することにより、凝固組織を微細化し中心偏析を低減させることとしている。しかしながら、ラインパイプ材などの鋼管に求められている偏析低減のレベルは年々高まっており、将来的に要求されるような偏析度のレベルにまで低減させるにはなお不十分である。また、さらなる偏析低減のためには、例えば、最適な軽圧下条件で鋼を連続鑄造することが考えられるが、特許文献3及び特許文献4の方法では、中心偏析を現状以上に低減させることは困難である。

【0011】

また、特許文献5の鑄片加熱装置は、連続鑄造機内での設置スペースが限られているので、局所加熱手法としては活用できるものの、鑄片全体を一樣な温度にコントロールするには至らない。

【0012】

本発明は、従来技術が抱えている前述した問題点に鑑みて開発された方法であり、その目的とするところは、鑄片内に発生する中心偏析を効果的に低減できる新たな鋼の連続鑄造方法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

そこで、発明者らは、従来技術が抱えている上述した課題を解決すべく鋭意検討を行った。その結果、鋼の連続鑄造における鑄片の冷却工程において、その鑄片を、特定の区間について、好ましい水量密度で冷却すれば、鑄片内の中心偏析を大幅に低減できることを見出し本発明を開発するに至った。

【0014】

本発明は、上記知見に基づきなされたものであり、その要旨構成は以下のとおりである。

連続鑄造機内の鑄片引抜き方向に沿って、鑄片幅方向の最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が0.8以下である始点から、前記鑄片幅方向の最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が前記始点での固相率よりも大きくかつ1.0以下である終点までの範囲を第1区間とすると、この第1区間内における鑄片表面積当たりの水量密度を、 $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内で、鑄片の冷却を行うことを特徴とする、鋼の連続鑄造方法。

【0015】

上記本発明はまた、下記のような実施形態を採用することがより好ましい態様となる。

(1) 前記終点での幅方向の固相率の平均値が1.0以下である、前記第1区間よりも下流に位置する区間を第2区間とすると、この第2区間における、鑄片表面積当たりの水量密度を $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $300\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内にて鑄片の冷却を行うこと、

(2) 少なくとも、前記第1区間の終了時点から第2区間通過の間においては、鑄片の表面温度が 200°C 以下である核沸騰状態を維持しながら鑄造し、凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配を $1.7 \sim 3.5\text{ K/mm}$ とすること、

(3) 前記第1区間及び第2区間は、連続鑄造機内での水平方向セグメント、もしくは垂直方向セグメントに限定する領域内に設置すること、

(4) 前記第1区間及び第2区間において、軽圧下を付与し、 $0.3 \sim 2.0\text{ mm/min}$ の圧下速度で、鑄片長辺面を圧下すること、

(5) 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により、鑄片長辺面を $2 \sim 20\text{ mm}$ のバルジング総量でバルジングさせ、その後、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て鑄片を軽圧下すること。

【発明の効果】

【0016】

上述した要旨構成からなる本発明に係る鋼の連続鑄造方法を採用することにより、連続鑄片の効果的な冷却を行うことができるようになり、連続鑄造鑄片内で発生することが予想される中心偏析や内部割れを低減させることができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明に係る鋼の連続鑄造方法を実施するのに有効な連続鑄造機の一例を示す概略図である。

【図2】鑄片幅方向の最終凝固位置を説明する図である。

【図3】鑄片引抜き方向に垂直な面で切断した鑄片の横断面図である。

【図4】実験1における、鑄片厚み中心付近の温度勾配と偏析粒個数との関係を示すグラフである。

【図5】実験2における、水量密度と鑄片厚み中心付近の温度勾配との関係を示すグラフである。

【図6】実験3における、水量密度と温度降下時間との関係を示すグラフである。

【図7】実験4における、強冷却開始時での固相率平均値と鑄片厚み中心付近の温度勾配との関係を示すグラフである。

【図8】強冷却と軽圧下時の圧下速度が偏析度に与える影響を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、図面を参照しながら、本発明の好ましい実施形態について説明する。ただし、本発明の範囲は図示例に限定されるものではない。

【0019】

図1は、本発明に係る鋼の連続鑄造方法の実施に有効な連続鑄造機の一例を示す概略図である。図1に例示する連続鑄造機11は、垂直曲げ型の連続鑄造機の例である。なお、

本発明では、垂直曲げ型に代えて、湾曲型や完全垂直型の連続鑄造機を用いることもできる。

【0020】

図1に示す連続鑄造機11は、鑄型13、タンディッシュ14、複数対の鑄片支持ロール16、及び複数のスプレーノズル17などを備えるものである。この図に示すとおり、鑄片18は、鑄片引き抜き方向D1に引き抜かれる。また、この図においては、鑄片引き抜き方向D1に沿うタンディッシュ14側を上流側とし、鑄片18が引き抜かれていく先の側を下流側として以下説明する。

【0021】

タンディッシュ14は、鑄型13の上方に配設されており、溶鋼12を鑄型13に供給するためのものである。このタンディッシュ14内には、取鍋（図示せず）から供給される溶鋼12が貯留されている。そのために、タンディッシュ14の底部には、溶鋼12の流量を調整するためのスライディングノズル（図示せず）が設置されており、このスライディングノズルの下面には浸漬ノズル15が設置されている。

10

【0022】

連続鑄造用鑄型13は、タンディッシュ14の下方に設置されており、この鑄型13内にはタンディッシュ14から溶鋼12が浸漬ノズル15を介して注入される。注入された溶鋼12は、鑄型13にて冷却（一次冷却）され、これによって、鑄片18の外殻形状が形成される。

【0023】

図1に示すとおり、複数対の鑄片支持ロール16が鑄片引き抜き方向D1に沿って鑄片18を両側から支持するように配設されている。この複数対からなる鑄片支持ロール16は、例えば、サポートロール対、ガイドロール対及びピンチロール対からなる複数対の支持ロールで構成されている。また、この図に示すように、鑄片支持ロール16は複数対が集まって1つのセグメント20を形成している。

20

【0024】

複数のスプレーノズル17は、鑄片引き抜き方向D1に沿って隣り合う鑄片支持ロール16の間に配設される。これらのスプレーノズル17は、鑄片18に向けて冷却水を噴射し、鑄片18を二次冷却するためのノズルである。このスプレーノズル17としては、水スプレーノズル（一流体スプレーノズル）やエアーミストスプレーノズル（二流体スプレーノズル）などのノズルを用いることができる。

30

【0025】

鑄片18は、複数のスプレーノズル17から噴霧される冷却水（二次冷却水）によって、鑄片引き抜き方向D1に沿って引き抜かれながら冷却される。なお、図1には、鑄片18内の溶鋼の未凝固部18aを斜線で示した。また、図1中には、未凝固部18aが無くなり凝固完了した凝固完了位置を、符号18bを付して示した。

【0026】

この連続鑄造機11の下流側の部分は、鑄片18を軽圧下する軽圧下帯19となっている。この軽圧下帯19には、複数対の鑄片支持ロール16で構成されるセグメント20a、20bが、複数設けられている。この軽圧下帯19の複数の鑄片支持ロール16は、各ロール対の鑄片18の厚み方向のロール間隔が鑄片引き抜き方向D1に向かって徐々に狭くなるように配置されており、これにより、軽圧下帯19を通過する鑄片18を軽圧下するのである。なお、図1中の符号22は、軽圧下帯19の領域内に設けられる下部矯正位置を示している。

40

【0027】

前述した連続鑄造機11の下流側の部分にはまた、鑄片18を水平方向に運ぶ水平帯の領域A1となっている。なお、図1では、鑄片支持ロール16で構成される各セグメントのうち、水平帯の領域A1に存在するセグメントを符号20a、水平帯の領域A1よりも上流側にあるセグメントを符号20bとして示している。

【0028】

50

前記の水平帯の領域 A 1 よりも下流側には、完全に凝固した鑄片 1 8 を搬送するための複数の搬送ロール 2 1 が設けられている。その搬送ロール 2 1 の上方には、鑄片 1 8 を所定の長さに切断する鑄片切断機（図示せず）が配設される。

【0029】

本発明においては、前記連続鑄造機 1 1 の鑄片引抜き方向 D 1 に沿った区間について、鑄片幅方向での固相率が一番低い幅方向最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が 0.8 以下とくには 0.1 以上 0.8 以下の範囲内である始点から、前記鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部の厚み方向に沿った固相率の平均値が前記始点での固相率の平均値よりも大きく、かつ 1.0 以下の範囲内である終点までの区間を第 1 区間と定める。

【0030】

ここで、固相率とは、凝固の進行状況を表す指標であり、固相率は 0 ～ 1.0 の範囲で表され、固相率 = 0（ゼロ）が未凝固を表しており、固相率 = 1.0 が完全凝固を表している。

【0031】

なお、本発明において、前記第 1 区間続く区間を第 2 区間とし、この第 2 区間とは、第 1 区間にて冷却した表面温度状態（核沸騰状態）を中心固相率が 1.0 になるまで補完する区間である。

【0032】

本発明に係る鋼の連続鑄造方法では、前記第 1 区間内において、水スプレーノズルから噴射される水スプレーによって鑄片の冷却を行うが、このとき鑄片表面積当たりの水量密度を $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内とする。このような冷却を行うことにより、鑄片厚み中心部の温度勾配が大幅に大きくなり、鑄片厚み中央部の凝固組織を微細化して、中心偏析を効率よく低減することができるのである。ここで、第 1 区間内において、鑄片表面積当たりの水量密度を $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内として、冷却水によって鑄片を冷却することを「強冷却」と称す。

【0033】

以下、鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部の厚み方向について、図 2 及び図 3 を用いて説明する。

【0034】

図 2 は、鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部位置を C 1 としたときの図である。図 2 は、鑄片 1 8 の上面及び下面を鑄片支持ロール 1 6 によって支持した場合の、鑄片 1 8 の平面図を示している。図 2 において、「後 ← 前」の方向は鑄片引抜き方向 D 1 に対応しており、「右 ← 左」の方向は鑄片 1 8 の幅方向 D 2 に対応している。鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部の位置 C 1 は、鑄片 1 8 の幅方向の中央部寄りの位置において鑄片引抜き方向 D 1 に沿った位置にある。

【0035】

図 3 は、鑄片引抜き方向 D 1 に垂直な面で切断した鑄片 1 8 の横断面図である。図 3 において、「左 ← 右」の方向は鑄片 1 8 の幅方向 D 2 に対応しており、「上 ← 下」の方向は鑄片 1 8 の厚み方向 D 3 に対応している。鑄片幅方向で固相率の一番低い幅方向最終凝固部の厚み方向の位置 C 2 は、鑄片 1 8 の横断面において、C 1 での厚み方向 D 3 に平行な位置であり、図 3 中に破線で示した。

【0036】

以下の説明において、水スプレーによる鑄片表面からの冷却の熱伝達係数は回帰式を使用し、その他の鋼に関する物性値は、データブックから各温度に対応した物性値を使用し、データの無い温度では、その温度を挟む前後の温度でのデータで比例計算を行った値を用いた。

【0037】

また、以下の説明において、水スプレーによる鑄片表面での熱伝達係数は、例えば、刊

10

20

30

40

50

行物 2（三塚正志、鉄と鋼、Vol. 91、2005 年、p. 685～693、日本鉄鋼協会）や、刊行物 3（手嶋俊雄ら、鉄と鋼、Vol. 74、1988 年、p. 1282～1289、日本鉄鋼協会）などに記載されている値を用いた。

【0038】

本発明においては、以上のような前提において、非定常伝熱凝固解析を実施することにより、鑄片の断面温度分布を得ることにした。

【0039】

さらに、鑄片断面の厚み方向で任意に選んだ或る位置の固相率については、任意に選んだ位置の温度と、溶鋼の固相線温度と、溶鋼の液相線温度とを用いて算出することができ、その任意に選んだ位置の温度については、上述した鑄片の断面温度分布を用いて特定した。また、その位置での温度が溶鋼の固相線温度以下のときに固相率は 1.0 であり、その位置での温度が溶鋼の液相線温度以上のときの固相率は 0 である。また、その位置での温度が、溶鋼の固相線温度より高く、かつ溶鋼の液相線温度よりも低いときは、固相率が 0 よりも大きく、かつ 1.0 よりも小さい値であって、その位置の温度によって決まる。

【0040】

そして、このようにして算出した鑄片厚み方向各位置の固相率から、厚み方向に沿った固相率の平均値を求めた。

【0041】

前述したように、本発明に係る鋼の連続鑄造方法において、前記第 1 区間内においては、鑄片表面積当たりの水量密度を $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内とする。そして、偏析低減の効果をより効率的に得るために、この第 1 区間内における鑄片表面積当たりの前記水量密度を、より好ましくは $300\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上とする。また、発明者らの知見によると、この第 1 区間内においては、鑄片表面積当たりの水量密度を $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ としたときと、 $1000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ としたときとは、凝固末期の温度勾配、偏析粒個数ともにそれぞれ大きな差がないことが分かった。また、前記水量密度を小さくすれば、必要水量を減らすことでコストを低減できるので、 $1000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下とすることが望ましい。

【0042】

なお、この第 1 区間の冷却について、鑄片を本発明に適合する前記水量密度で冷却すれば、本発明の効果をを得ることができるが、当該水量密度で冷却する距離を長くして本発明の効果を有効に得るという観点からは、始点と終点との固相率平均値の差は 0.2 以上とすることが好ましく、0.4 以上であることがより好ましい。

【0043】

次に、前記第 1 区間の始点は、連続鑄造機内で鑄片を水平方向に搬送する水平帯、または当該水平帯よりも上流側にある湾曲帯のいずれかにあることが好ましい。例えば、第 1 区間は、連続鑄造機内で鑄片を水平方向に搬送する水平帯の領域 A1 内とすることが好ましい。その理由は、水平帯の領域内で強冷却すれば、均等に冷却して熱応力の影響を抑えることができるので、鑄片の内部割れを、より発生しにくくすることができるからである。

【0044】

一方、第 1 区間の始点を湾曲帯とした場合であっても、本発明の効果は得られるが、温度が低下して矯正不能になったり、表面応力により割れたりする不具合が発生する可能性があるものの、第 1 区間の始点を湾曲帯内の位置とする場合があっても本発明の許容範囲内である。

【0045】

次に、第 2 区間の冷却については、前記第 1 区間における鑄片表面積当たりの水量密度よりも小さい鑄片表面積当たりの水量密度で、鑄片の表面温度を 200°C 以下に保持できる流量とする。その理由は第 1 区間と同等の水量密度にして冷却すると設備的に高価になる。しかし、このようにすることで設備投資費用を抑止でき、かつ第 1 区間のみで強冷却する場合と同等の効果をを得ることができるからである。また、急激な復熱を抑止して復熱による鑄片の内部割れを防止するという効果をを得ることもできる。

【0046】

また、上記効果を得るという観点からは、この第2区間では、鑄片表面積当たりの水量密度を $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上、 $300\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内として、水スプレーによって鑄片を冷却することが好ましい。

【0047】

鑄片の表面温度は、上述の非定常伝熱凝固解析によって求めた鑄片の断面温度分布のうち、鑄片の最表面の幅中央位置での温度のことをいう。なお、本発明での表面温度はこの計算値を用いているが、鑄片の表面温度は実測することもできる。表面温度を実測する場合は、例えば、放射温度計や熱電対を用いて鑄片の最表面の温度を表面温度として測定する。

10

【0048】

さらに中心偏析厳格材については、第1区間及び第2区間において、 $0.3 \sim 2.0\text{ mm/min}$ の圧下速度で、鑄片長辺面を軽圧下することが好ましい。その理由は、凝固収縮による濃化溶鋼の吸い込みを抑制できるようになるからである。本発明において、強冷却と軽圧下を組み合わせることにより、さらに中心偏析を減少させることも可能である。

【0049】

また、複数対の鑄片支持ロールのロール開度を、矯正点を含まない範囲（上部矯正以降で開始して下部矯正前で終了するようにし、かつ矯正点では開度をフラットとして極力絞り込み変更しない）で下流側に向かって段階的に増加させ、鑄片長辺面を $2 \sim 20\text{ mm}$ のバルジング総量でバルジングさせ、その後、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て、短辺熱収縮より圧下しない総量まで軽圧下すれば、さらなる効率の向上が見込まれる。

20

【0050】

以下、中心偏析を減少させるための要件、すなわち、中心偏析を減少させるための実施条件について実験した。

【0051】

この実験においては、図1に示した垂直曲げ型の連続鑄造機を用い、中炭素アルミキルド鋼を鑄造した。連続鑄造機の機長は 49 m 、鑄片の厚さは 250 mm 、鑄片の幅は 2100 mm 、二次冷却は、第1区間及び第2区間を除き、エアーミストスプレーを用い、二次冷却の範囲は鑄型直下から連続鑄造機の出口までとした。中炭素アルミキルド鋼の化学成分濃度は、炭素（C）が 0.20 質量%、ケイ素（Si）が 0.25 質量%、マンガン（Mn）が 1.1 質量%、リン（P）が 0.01 質量%、硫黄（S）が 0.002 質量%のものをを用いた。

30

【0052】

また、この実験において、鑄片の凝固完了位置及び凝固末期における厚み中心付近の温度勾配は、以下のように定義する。また、鑄片の偏析粒個数、内部割れ長さ及びザクは、以下のように測定したものをを用い、偏析度、内部割れ及びザクの評価にそれぞれ用いた。ここで、「ザク」とは、凝固中にデンドライト間の閉ざされた空間に残存し、偏析成分が濃化した溶鋼が凝固時に体積収縮することにより鑄片に空隙として現れたものをいう。

【0053】

<凝固完了位置>

鑄片の凝固完了位置は、非定常伝熱凝固解析によって算出した。

【0054】

<凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配>

凝固末期における鑄片の厚み中心付近の温度勾配は、上述した非定常伝熱凝固解析を用いて算出した。

【0055】

この解析において、凝固完了位置から鑄片引き抜き方向D1に 1 m 上流側の鑄片の断面において、鑄片の中心位置から厚み方向に 1 mm かつ幅方向に 10 mm の範囲内の領域の平均温度を算出し、次に、凝固完了位置から鑄片引き抜き方向D1に 1 m 上流側の鑄片の

40

50

断面において、鑄片の中心位置から厚み方向に10mmの位置を中心として、厚み方向に±1mmかつ幅方向に10mmの範囲内の領域の平均温度を算出し、これら2つの平均温度の差を10mmで除したものを、凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配（K/mm）とした。

【0056】

＜偏析粒個数＞

偏析粒個数は以下の方法で測定し、偏析の評価に用いた。

【0057】

鑄片引抜き方向D1に垂直な鑄片の断面において、幅が15mmで中心部に中心偏析部を含み、幅中央から片側の3重点（短辺側と長辺側との凝固殻が成長して出会った点）までの長さの鑄片試料を採取した。採取した鑄片試料の鑄片引抜き方向D1に垂直な断面を研磨し、例えば、ピクリン酸飽和水溶液などで表面を腐食させて偏析帯を現出させ、その偏析帯の中心から鑄片厚み±7.5mmの範囲を中心偏析部とした。厚み中央付近の偏析帯（凝固完了部付近）の鑄片試料を、鑄片幅方向に小分割した後、電子プローブマイクロアナライザー（Electron Probe Micro Analyzer：EPMA）を用いて電子ビーム径100μmで鑄片試料のマンガン（Mn）濃度を全面に亘って面分析した。そして、マンガン（Mn）偏析度の分布を求め、Mn偏析度が1.33以上の領域が繋がっているものを1つの偏析粒とした。その偏析粒の数をカウントし、偏析粒の数をサンプルの鑄片幅方向の長さで除したものを偏析粒個数（個/mm）とした。ここで、Mn偏析度とは、偏析部のMn濃度を、厚み中心部から10mm離れた位置におけるMn濃度で除したものである。

【0058】

＜鑄片の内部割れ長さ＞

鑄片の内部割れ長さを以下の方法で測定し、内部割れの評価に用いた。

【0059】

鑄造後の鑄片において、鑄片引抜き方向D1に垂直な鑄片の断面を観察し、内部割れの鑄片厚み方向に沿った長さを測定した。この内部割れの長さのうち、観察断面内で最大の長さのものを内部割れ長さ（mm）とした。内部割れが確認できなかった場合は、内部割れ長さは0とした。

【0060】

＜ザク判定＞

完全凝固後の鑄片の鑄片引抜き方向D1に垂直な断面をフライス加工後、塩酸エッチングの後に、マクロプリントを採取し、目視の官能検査でザクを確認した。ザクが確認されなかったものを良好（○）とし、製品の品質に影響のない軽微なザクが確認されたものを可（△）と判定した。

【0061】

発明者は、以下のような実験を行い、中心偏析を減らすための条件を検討した。

【実験1】

この実験においては、鑄片の凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配と、偏析粒個数とを、上述した方法で算出または測定し、これらの関係を考察した。その結果をプロットしたグラフを図4に示した。図4に示す結果より、凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配（K/mm）を大きくすると、偏析粒個数が少なくなっており、中心偏析を低減できる傾向のあることが分かった。凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配としては1.7～3.5、より好ましくは2.0～3.5である。中心偏析を低減できる理由は、温度勾配を大きくすることによって、鑄片厚み中心部の凝固組織を微細化することができたためであると考えられる。

【0062】

【実験2】

この実験においては、連続鑄造機を用いて鑄片を二次冷却する際に、水スプレーでの鑄片表面積当たりの水量密度の条件を変更して鑄片を製造し、当該水量密度と、鑄片の凝固

10

20

30

40

50

末期における厚み中心付近の温度勾配との関係を調べた。そして、中心偏析を低減できる鋳片厚み中心部の温度勾配を実現するために最適な水量密度の範囲についても調べた。その結果をプロットしたグラフを図5に示した。

【0063】

この図5に示す結果より、鋳片表面積当たりの水量密度は $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上で、鋳片厚み中心部の温度勾配が大幅に大きくなることが分かった。即ち、前記実験1の結果を踏まえれば、鋳片表面積当たりの水量密度を $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上として冷却することによって、中心偏析を大幅に低減できることが分かる。また、鋳片表面積当たりの水量密度を $1000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ より大きくしても鋳片厚み中心部の温度勾配は大きくならなかった。

10

【0064】

したがって、第1区間、第2区間で多少の違いはあるものの、効率的な鋳片厚み中心部の温度勾配増大のためには、鋳片表面積当たりの水量密度は $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下、好ましくは $1000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下にすることである。また、下限については $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上、より好ましくは $300\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上にすることである。

【0065】

〔実験3〕

この実験では、鋳片冷却の効果について検討した。発明者らの知見では、鋳片冷却の効果は、鋳片の表面温度が大きく影響を及ぼしていることが分かった。これは鋳片表面温度により冷却水の沸騰形態が変化するためであると考えられる。鋳片の表面温度が十分に低下していれば、表層での沸騰形態は核沸騰となり、安定的な冷却が実現できる。そこで、連続鋳造機を用いて鋳片を二次冷却する際に、水スプレーでの鋳片表面積当たりの水量密度の条件を変更して、鋳片の表面温度が 800°C から 300°C まで低下するまでに費やした時間（温度降下時間）を計算し、温度降下時間に及ぼす水量密度の影響を調査した。これらの結果をプロットしたグラフを図6に示す。

20

【0066】

この図6に示す結果より、鋳片表面積当たりの水量密度が $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 付近で、鋳片の表面温度が 800°C から 300°C まで低下するまでの温度降下時間は、 200 秒未満になるので、鋳片表面積当たりの水量密度は $50\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上が好ましいことが分かった。また、鋳片表面積当たりの水量密度が $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ より大きい場合には降下時間に大きな変化はなかった。

30

【0067】

したがって、効率的な冷却の観点からは、特に第1区間についての鋳片表面積当たりの水量密度は $2000\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下とすることが望ましいことが分かった。

【0068】

〔実験4〕

次に、発明者らは、鋳片厚み中心部の温度勾配を効率的に大きくすることができる強冷却の開始位置についても調査した。連続鋳造機を用いて、強冷却開始時での、鋳片の厚み方向に沿った固相率の平均値の条件を変化させて鋳片を冷却し、強冷却開始時での固相率平均値と、鋳片の凝固末期における厚み中心付近の温度勾配との関係を調べた。鋳片の厚さは 250 mm であり、強冷却での鋳片表面積当たりの水量密度は $300\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ であり、強冷却は鋳片の完全凝固位置まで継続した。強冷却開始時での固相率平均値と、鋳片の凝固末期における厚み中心付近の温度勾配との関係について、その結果をプロットしたグラフを図7に示す。

40

【0069】

図7に示す結果より、強冷却開始時の固相率平均値が小さいほど、鋳片中心部の温度勾配は大きくなる傾向があることが分かった。ただし、強冷却開始時での固相率平均値が 0.26 における温度勾配は、強冷却開始時での固相率平均値が 0.43 における温度勾配と大きな変化はなく、固相率平均値が 0.8 で鋳片中心部の温度勾配は 1.7 以上であっ

50

た。したがって、本発明の効果が十分に発揮され、かつ強冷却の設備をよりコンパクトにして設備投資や運転の効率を高めるには強冷却開始時での固相率の平均値は0.4以上であればよいことが分かった。また、強冷却開始時での固相率平均値が0.9よりも大きい場合には、温度勾配は大きくならなかった。

【実施例】

【0070】

以下、本発明の効果を検証するために行った実施例について説明する。

図1に示した垂直曲げ型の連続鋳造機を用い、中炭素アルミキルド鋼を鋳造した。連続鋳造機の機長は49m、鋳片の厚さは250mm、鋳片の幅は2100mm、二次冷却は、第1区間及び第2区間を除き、エアーミストスプレーを用い、二次冷却の範囲は鋳型直下から連続鋳造機の出口までとした。中炭素アルミキルド鋼の化学成分濃度は、炭素(C)が0.20質量%、ケイ素(Si)が0.25質量%、マンガン(Mn)が1.1質量%、リン(P)が0.01質量%、硫黄(S)が0.002質量%のものを用いた。

【0071】

【例1】

この実施例においては、「第1区間」における始点での固相率、終点での固相率、鋳片表面積当たりの水量密度($L/(m^2 \times min)$)、第1区間出側表面温度($^{\circ}C$)、および「第2区間」における始点での固相率、終点での固相率、鋳片表面積当たりの水量密度($L/(m^2 \times min)$)、第2区間最高表面温度($^{\circ}C$)について、表1に示すような条件を与えて調べた。

【0072】

その結果について、凝固末期の温度勾配(K/mm)、軽圧下条件(圧下速度:0.3~2.0m/min)、バルジング総量(mm)を調べ、これらを表1にまとめて示した。それと共に、偏析度の評価として偏析粒個数(個/mm)を調べ、内部割れの評価として内部割れ長さ(mm)を調べ、これらを表1にまとめて示した。なお、これらの表では、本発明に適合する条件のものを発明例として示し、そうでない条件のものを比較例として示した。以下の表中で、偏析度の評価は、偏析粒個数が1.3個/mm以下を良好として、「◎」印とし、1.3個/mmを超え3.5個/mm未満を可として、「○」印とし、3.5個/mm以上を不可として、「×」で評価した。内部割れの評価は、内部割れ長さが1.0mm以下を良好として、「◎」印とし、1.0mmを超え10mm未満を可として、「○」印とし、10mm以上を不可として、「×」で評価した。

【0073】

No.1~7およびNo.10~14はいずれも、第1区間の操業で求められる条件のうち本発明に適合する範囲内で操業を実施した例である。その結果、偏析度の評価、内部割れの評価共に良好であった。一方で、比較例として示したNo.8は、第1区間での水量密度が外れた例であり、No.9は始点での固相率が外れた例である。水量密度の低いNo.8では、核沸騰状態も維持できておらず偏析粒個数の評価および内部割れの評価も劣った。また、固相率が外れたNo.9では鋳片中心部の温度勾配は小さくなり偏析粒個数の評価が劣った。

【0074】

【表 1】

No.	第一区間				第二区間				凝固末期 鱗片中心 温度勾配 K/mm	軽圧下条件		偏析度評価		内部割れ評価		備考
	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ・min)	表面温度 (出側) ℃	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ・min)	表面温度 (最高値) ℃		圧下速度 m/min	バルジング 総量 mm	偏析粒 個/mm	評価 値	内部割れ 長さ mm	評価 値	
1	0.45	1.00	500	180	1.00	1.00	50	165	3.04	0.30	2	1.26	◎	0	◎	発明例
2	0.45	1.00	2000	150	1.00	1.00	300	135	3.06	0.30	2	1.25	◎	0	◎	発明例
3	0.73	1.00	500	164	1.00	1.00	50	157	2.38	0.30	2	1.49	○	0	◎	発明例
4	0.73	1.00	2000	152	1.00	1.00	300	120	2.40	0.30	2	1.48	○	0	◎	発明例
5	0.53	0.80	500	195	0.80	1.00	300	187	2.94	0.30	2	1.26	◎	0	◎	発明例
6	0.53	0.82	2000	185	0.82	1.00	300	177	2.96	0.30	2	1.29	◎	0	◎	発明例
7	0.53	0.80	500	185	0.80	1.00	300	187	2.94	2.00	20	1.29	◎	0	◎	発明例
8	0.53	0.75	45	350	0.75	1.00	300	295	1.22	0.30	2	3.53	×	5	○	比較例
9	1.00	1.00	50	142	1.00	1.00	50	132	0.00	0.30	2	6.72	×	15	×	比較例
10	0.53	0.80	50	190	0.80	1.00	300	185	3.01	2.00	20	1.30	◎	0	◎	発明例
11	0.53	0.80	300	195	0.80	1.00	300	182	3.16	2.00	20	1.26	◎	0	◎	発明例
12	0.62	0.75	2000	150	0.75	1.00	50	175	2.00	2.00	20	1.21	◎	0	◎	発明例
13	0.52	0.72	2000	162	0.72	1.00	50	185	3.20	2.00	20	1.24	◎	0	◎	発明例
14	0.53	0.93	2000	164	0.93	1.00	50	189	3.10	2.00	20	1.31	◎	0	◎	発明例

【0075】

【例 2】

この実施例は、本発明における第2区間の処理として求められる条件（鱗片表面積当たりの水量密度（ $L / (m^2 \times min)$ ）、第2区間最高表面温度（℃）について検討した。即ち、この例では、上記【例 1】の第1区間に求められる条件を前提とした上で、第2区間で求められる条件について検討したものである。その条件および結果について表 2 にまとめた。各評価は【例 1】と同様に行った。この表 2 から明らかとなり、No. 20～26 については本発明条件を満足する一方、No. 27、28 については、この第2区間で求められている鱗片表面積当たりの水量密度が不足している。そのため、No. 27

、 28 は、第 1 区間で求められている本発明の条件は満足しているものの、偏析度の評価および内部割れの評価とも、No. 20～26 に比べるとやや劣るという結果になった。

【0076】

【表 2】

No.	第一区間				第二区間				凝固末期	軽圧下条件		偏析度評価		内部割れ評価		備考
	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ・min)	表面温度 (出側) ℃	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ・min)	表面温度 (最高値) ℃		圧下速度 m/min	バルジング 総量 mm	偏析粒 個/mm	評価	内部割れ 長さ mm	評価	
20	0.45	1.00	500	180	1.00	1.00	50	165	3.04	0.30	2	1.26	◎	0	◎	発明例
21	0.45	1.00	2000	150	1.00	1.00	300	135	3.06	0.30	2	1.25	◎	0	◎	発明例
22	0.73	1.00	500	164	1.00	1.00	50	157	2.38	0.30	2	1.49	○	0	◎	発明例
23	0.73	1.00	2000	152	1.00	1.00	300	120	2.40	0.30	2	1.48	○	0	◎	発明例
24	0.53	0.80	500	195	0.80	1.00	300	187	2.94	0.30	2	1.26	◎	0	◎	発明例
25	0.53	0.82	2000	185	0.82	1.00	300	177	2.96	0.30	2	1.29	◎	0	◎	発明例
26	0.53	0.80	500	185	0.80	1.00	300	187	2.94	2.00	20	1.29	◎	5	○	発明例
27	0.53	0.80	500	195	0.80	1.00	30	250	1.52	0.30	2	2.40	○	7	○	発明例
28	0.53	0.80	500	195	0.80	0.90	40	271	1.68	0.30	2	2.38	○	9	○	発明例

【0077】

【例 3】

この実施例は、凝固末期の鱗片厚み中心部の温度勾配 (K/mm)、軽圧下条件として圧下速度 (m/min)、バルジング総量 (mm) に関して、前述した第 1 区間、第 2 区間に求められる条件については本発明に適合することを前提とした例について検討したものである。その条件および結果について表 3 にまとめた。各評価は【例 1】と同様に行っ

た。この表3から明らかとなっており、No. 30～37は、いずれも発明例として適合する場合であり、偏析度の評価、内部割れの評価とも概ね良好であった。しかし、No. 38、39については第2区間の水量密度が不足するために凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配(K/mm)が小となり、また第2区間最高表面温度も高く(>200℃)なった。そのため、No. 38、39は、No. 30～37と同様の効果までは得られないことが分かった。

【0078】

【表3】

No.	第一区間				第二区間				凝固末期 鑄片中心 温度勾配 K/mm	軽圧下条件		偏析度評価		内部割れ評価		備考
	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ·min)	表面温度 (出側) ℃	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ·min)	表面温度 (最高値) ℃		圧下速度 m/min	パルシング 総量 mm	偏析粒 個/mm	評価 値	内部割れ 長さ mm	評価 値	
30	0.45	1.00	500	180	1.00	1.00	50	165	3.04	0.30	2	1.26	◎	0	◎	発明例
31	0.45	1.00	2000	150	1.00	1.00	300	135	3.06	0.30	2	1.25	◎	0	◎	発明例
32	0.73	1.00	500	164	1.00	1.00	50	157	2.38	0.30	2	1.49	○	0	◎	発明例
33	0.73	1.00	2000	152	1.00	1.00	300	120	2.40	0.30	2	1.48	○	0	◎	発明例
34	0.53	0.80	500	195	0.80	1.00	300	187	2.94	0.30	2	1.26	◎	0	◎	発明例
35	0.53	0.82	2000	185	0.82	1.00	300	177	2.96	0.30	2	1.29	◎	0	◎	発明例
36	0.53	0.80	500	185	0.80	1.00	300	187	2.94	2.00	20	1.29	◎	5	○	発明例
37	0.53	0.80	50	210	0.80	0.90	250	180	1.70	0.30	15	2.31	○	6	○	発明例
38	0.53	0.80	500	195	0.80	1.00	30	250	1.52	0.30	2	2.40	○	7	○	発明例
39	0.53	0.80	500	195	0.80	1.00	40	271	1.68	0.30	2	2.38	○	7	○	発明例

【0079】

これらの実施例の結果から、本発明では少なくとも第1区間における鑄片表面積当たり

の水量密度を所定の範囲内とすることを前提とし、必要に応じ第2区間における鑄片表面積当たりの水量密度をも制御することで、連続鑄造鑄片の効果的な冷却を行うことができることが確かめられた。そして、より望ましくは、凝固末期における鑄片厚み中心付近の温度勾配や前記第1、2区間における軽圧下の条件をも考慮することがより有効となることが判った。

【0080】

〔例4〕

この実施例は、前述した第1区間に求められる冷却条件をより強冷却の範囲とし、第2区間に求められる冷却条件を $180\text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ とし、バルジング総量を一定とした。そして、軽圧下条件として圧下速度 (m / min) の影響を検討したものである。その条件および結果について表4にまとめ、図8に軽圧下時の圧下速度と偏析度との関係を示した。各評価は〔例1〕と同様に行った。また、ザクの判定は、ザクが確認されなかったものを良好(○)とし、製品の品質に影響のない軽微なザクが確認されたものを可(△)と判定した。この表4から明らかとなっており、No. 41~45、48~52は、いずれも発明例として適合する場合であり、偏析度の評価およびザク判定の評価とも概ね良好であった。しかし、No. 40および47については、軽圧下条件として圧下速度が過小のため、偏析粒個数が、No. 41~45、48~52より多くなり、軽微なザクが見られた。一方、No. 46および53については、軽圧下条件として圧下速度が過大のため、偏析粒個数が、No. 41~45、48~52より多くなった。なお、表4の条件で内部割れの発生はなかった。この結果から、図8に示すように、第1区間の冷却条件をより強冷却の範囲とし、軽圧下条件として圧下速度を $0.3 \sim 2.0\text{ m} / \text{min}$ とすることで偏析度の評価、内部割れおよびザク判定の評価に優れた鑄片を製造できることが判った。

【0081】

この原因は以下のように考えられる。未凝固域で鑄片の超強冷を適用することにより温度勾配が上昇し、デンドライトの微細化が達成できる。中心偏析をさらに改善するためには、併せて軽圧下を組み合わせること好ましい。ところが、軽圧下が弱すぎる、つまり、圧下速度が過小であると凝固収縮に伴う流動が抑制できずに正偏析を発生させてしまう。加えて、凝固収縮により、ザクが生じるおそれがある。逆に、軽圧下が強すぎる、つまり、圧下速度が速すぎると圧下過多となり濃化溶鋼が逆流し、逆V偏析を発生させてしまい偏析は悪化してしまう。

【0082】

10

20

30

40

50

【表 4】

No.	第一区間				第二区間				凝固末期 鑄片中心 温度勾配 K/mm	軽圧下条件			偏析度評価			内部割れ評価		ザ ク 判 定	備考
	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ·min)	表面温度 (出側) ℃	固相率 (始点)	固相率 (終点)	水量密度 L/(m ² ·min)	表面温度 (最高値) ℃		圧下速度 m/min	ハルツィン 総量 mm	偏析粒 個数	評 価	内部割れ 長さ mm	評価				
40	0.45	0.80	600	175	0.80	1.00	180	185	2.60	0.2	12	2.73	○	0	◎	△	発明例		
41	0.45	0.80	600	173	0.80	1.00	180	183	2.61	0.3	12	1.25	◎	0	◎	○	発明例		
42	0.45	0.80	600	175	0.80	1.00	180	182	2.65	0.9	12	0.41	◎	0	◎	○	発明例		
43	0.45	0.80	600	176	0.80	1.00	180	188	2.61	1.3	12	0.51	◎	0	◎	○	発明例		
44	0.45	0.80	600	174	0.80	1.00	180	187	2.58	1.8	12	0.55	◎	0	◎	○	発明例		
45	0.45	0.80	600	174	0.80	1.00	180	187	2.58	2.0	12	0.95	◎	0	◎	○	発明例		
46	0.45	0.80	600	172	0.80	1.00	180	185	2.59	2.2	12	2.91	○	0	◎	○	発明例		
47	0.45	0.78	1000	165	0.78	1.00	180	182	2.62	0.2	12	3.18	○	0	◎	△	発明例		
48	0.45	0.78	1000	168	0.78	1.00	180	184	2.63	0.5	12	0.64	◎	0	◎	○	発明例		
49	0.45	0.78	1000	166	0.78	1.00	180	181	2.72	0.9	12	0.45	◎	0	◎	○	発明例		
50	0.45	0.78	1000	167	0.78	1.00	180	182	2.74	1.3	12	0.36	◎	0	◎	○	発明例		
51	0.45	0.78	1000	163	0.78	1.00	180	186	2.68	1.8	12	0.27	◎	0	◎	○	発明例		
52	0.45	0.78	1000	163	0.78	1.00	180	186	2.68	2.0	12	1.01	◎	0	◎	○	発明例		
53	0.45	0.78	1000	165	0.78	1.00	180	183	2.73	2.2	12	2.36	○	0	◎	○	発明例		

【0083】

本明細書中で体積の単位「L」は、 10^{-3} m^3 である。数値の範囲を表す「x～y」は、x以上y以下を表し、境界値を含む。

【符号の説明】

【0084】

- 1 1 連続鑄造機
- 1 2 溶鋼
- 1 3 鑄型
- 1 4 タンディッシュ

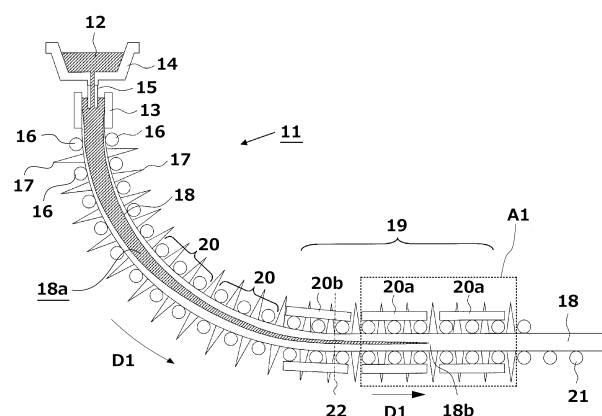
- | | |
|-------|----------|
| 1 5 | 浸漬ノズル |
| 1 6 | 鑄片支持ロール |
| 1 7 | スプレーノズル |
| 1 8 | 鑄片 |
| 1 8 a | 鑄片内の未凝固部 |
| 1 8 b | 凝固完了位置 |
| 1 9 | 軽圧下帯 |
| 2 0 | セグメント |
| 2 0 a | セグメント |
| 2 0 b | セグメント |
| 2 1 | 搬送ロール |

【要約】

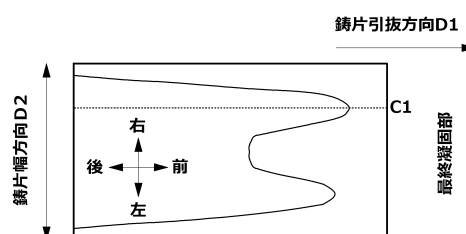
鑄片内に発生する中心偏析を効果的に低減できる鋼の連続鑄造方法を提案する。連続鑄造機内の鑄片引抜き方向に沿って、鑄片幅方向の最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が0.8以下である始点から、前記鑄片幅方向の最終凝固部での厚み方向に沿った固相率の平均値が前記始点での固相率よりも大きくかつ1.0以下である終点までの範囲を第1区間とするとき、この第1区間内における鑄片表面積当たりの水量密度を、 $50 \sim 2000 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下の範囲内で、鑄片の冷却を行うことを特徴とする、鋼の連続鑄造方法。

【図面】

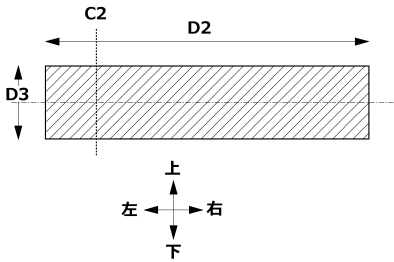
【図 1】



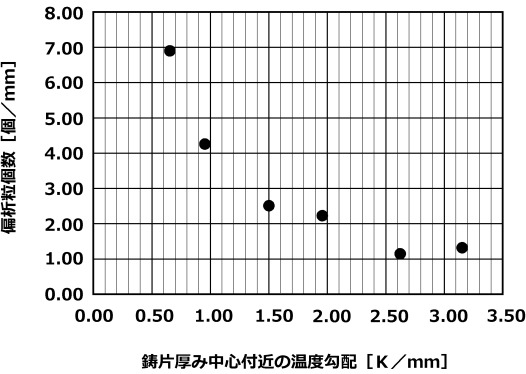
【図 2】



【図 3】

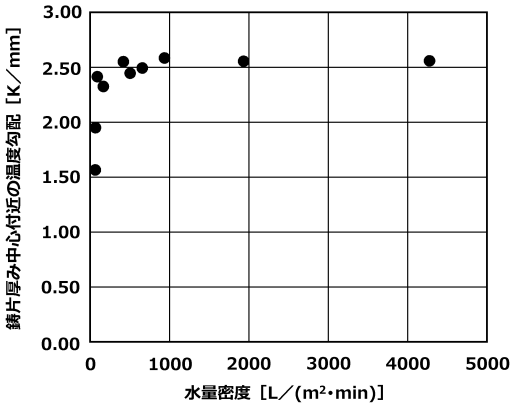


【図 4】

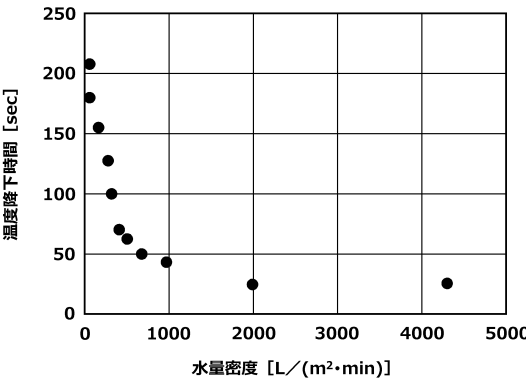


10

【図 5】



【図 6】



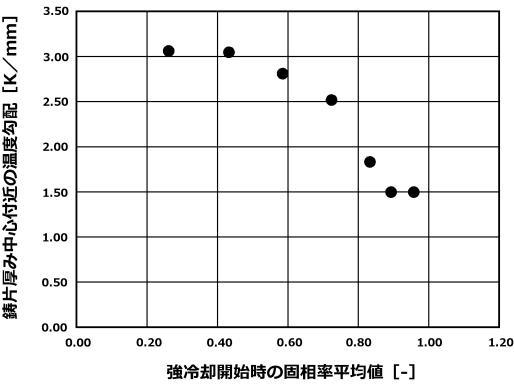
20

30

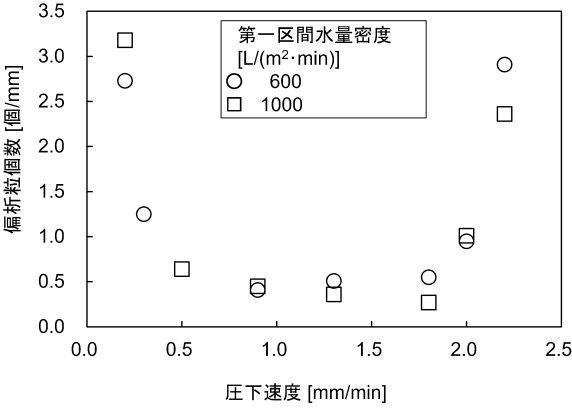
40

50

【図 7】



【図 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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 野島 佑介
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
審査官 坂本 薫昭
(56)参考文献 特開2019-155419 (JP, A)
国際公開第2020/203715 (WO, A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B22D 11/124, 11/128, 11/20, 11/22