

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7131707号
(P7131707)

(45)発行日 令和4年9月6日(2022.9.6)

(24)登録日 令和4年8月29日(2022.8.29)

(51)国際特許分類

F I

B 2 2 D 11/124 (2006.01)

B 2 2 D 11/124

G

B 2 2 D 11/22 (2006.01)

B 2 2 D 11/124

F

B 2 2 D 11/124

N

B 2 2 D 11/22

B

請求項の数 6 (全15頁)

(21)出願番号 特願2021-537278(P2021-537278)
 (86)(22)出願日 令和2年7月30日(2020.7.30)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2020/029328
 (87)国際公開番号 WO2021/024920
 (87)国際公開日 令和3年2月11日(2021.2.11)
 審査請求日 令和3年9月10日(2021.9.10)
 (31)優先権主張番号 特願2019-142691(P2019-142691)
 (32)優先日 令和1年8月2日(2019.8.2)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(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 100184859
 弁理士 磯村 哲朗
 (74)代理人 100123386
 弁理士 熊坂 晃
 (74)代理人 100196667
 弁理士 坂井 哲也
 (74)代理人 100130834
 弁理士 森 和弘
 (72)発明者 大須賀 顕一
 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】 連続鑄造鑄片の二次冷却装置及び二次冷却方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

連続鑄造機の二次冷却帯において、複数のガイドローラーによって支持案内される鑄片を一流体水スプレーで冷却する連続鑄造鑄片の二次冷却装置であって、

流量特性の異なる二種類以上の水スプレーノズルと、

各水スプレーノズルの流量特性に応じた流量の水を供給する複数の水供給ラインと、
 前記複数の水供給ラインのうち一つの水供給ラインにのみ水を供給し、他の水供給ラインには水が供給されないように、使用する水供給ラインを切り換える切換装置と、
 を備え、

前記流量特性の異なる二種類以上の水スプレーノズルが、前記ガイドローラー間の隙間に、前記ガイドローラーの回転軸と平行な方向に一列に並べて設置され、前記複数の水供給ラインのうちいずれの水供給ラインを使用する場合であっても、前記鑄片の幅方向の全幅を隙間なくカバーできるように各水スプレーノズルの数および噴射角度を異ならせている冷却ゾーンを有する、連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

【請求項2】

前記水供給ラインの数は、前記水スプレーノズルの種類と同数である、請求項1に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

【請求項3】

前記二種類以上の水スプレーノズルのうち、最も噴射流量の多いスプレーノズルによって噴射される水の水量密度は、最も噴射流量が少ないスプレーノズルによって噴射される

水の水量密度の20倍以上である、請求項1または請求項2に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

【請求項4】

前記二種類以上の水スプレーノズルのうち、最も噴射流量の多いスプレーノズルによって噴射される水の水量密度は $500\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $2000\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下であり、最も噴射流量が少ないスプレーノズルによって噴射される水の水量密度は $50\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $500\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 未満である、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

【請求項5】

鑄造方向上流側から、垂直帯、曲げ部、湾曲帯、矯正部、水平帯の順で構成される前記連続鑄造機の二次冷却帯において、前記冷却ゾーンが、前記水平帯内に1ゾーン以上設置される、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

【請求項6】

請求項5に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置を用いて鑄片を二次冷却する連続鑄造鑄片の冷却方法であって、

前記水平帯における鑄造方向上流側区間を、噴射された水が鑄片表面で核沸騰状態となる条件で水を噴射して鑄片を冷却する強水冷区間とし、かつ、前記強水冷区間より鑄造方向下流側で前記水平帯末端までの区間を、前記強水冷区間よりも水量密度を低下させ、かつ鑄片表面における冷却液の沸騰状態を核沸騰に維持する弱水冷区間とする、連続鑄造鑄片の二次冷却方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、連続鑄造鑄片の二次冷却装置及び二次冷却方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般的な連続鑄造鑄片の製造方法を、垂直曲げ型の連続鑄造設備を例に挙げて、図4に基づいて説明する。

【0003】

タンディッシュ（図示なし）から鑄型21に注入された溶鋼は、鑄型21にて一次冷却され、凝固シェルを形成した平板状の鑄片5となって平板状で垂直帯23を降下し湾曲帯27へと進む。そして湾曲帯27の入側の曲げ部25において鑄片5は一定の曲率半径を保つように複数のロール（不図示）でガイドされながら曲げられる。

【0004】

その後、矯正部29において曲率半径を順次大きくしながら曲げ戻され（矯正され）、矯正部29を出たところで鑄片5は再び平板状になって水平帯31へと進む。水平帯31で凝固が完了した後、鑄片5は連続鑄造機出側に設置されたガス切断機33によって所定の長さに切断される。

【0005】

鑄片5は鑄型21を出た後、垂直帯23から水平帯31にかけて中心部まで凝固を完了させるために水スプレー（水一流体スプレーや水-空気二流体混合ミストスプレー）を使った二次冷却を実施している。

【0006】

通常、二次冷却は鑄型21直下の垂直帯23において大流量の水を噴射して強冷却を実施することでシェルの強度を確保している。湾曲帯27以降では逆に冷却を弱め、内部の高温部からの熱伝導によって表面温度を上昇（復熱）させている。そして矯正部29において表面温度が脆化温度域以上になるように調整し、横割れの発生を回避している。

【0007】

連続鑄造を開始してから鑄造速度が最高速度に達するまでの期間や、鑄型への溶鋼の注入を停止し連続鑄造を終了する期間は鑄造速度が大きく変化する。この時、二次冷却帯の

10

20

30

40

50

冷却条件を鑄造速度の変化に合わせて制御しなければならない。

【0008】

冷却条件の制御が適切でない場合、例えば、垂直帯において冷却過剰となれば、矯正帯通過時に鋼のIII領域脆化（ γ 低温領域から γ/α 変態温度域にかけての鋼の脆化現象）に起因した表面割れ（横割れ）を生じてしまう。

【0009】

鑄片の温度が低下し過ぎた場合には、連続鑄造機出側でのガス切断時に切断不良とそれに伴う鑄造速度調整などのトラブルを招いてしまう。

【0010】

一方、生産効率向上の目的で鑄造速度を増加させ、鑄片中心部が未凝固のまま矯正を行い、連続鑄造工程の終盤の水平帯で強冷却を実施することで凝固を完了させる方法もとられる。このような方法は鋼種によって適用可否が異なり、冷却の過不足を防ぐために鑄片の厚みや速度によって強冷却帯の範囲や冷却水の水量を制御しなければならない。

10

【0011】

以上のように、連続鑄造における鑄片の二次冷却においては、冷却条件を大きく変化させる必要がある。これに対応する方法として、例えば、特許文献1では、水と圧縮空気による二流体スプレーによって水量が大きく変化した場合でも安定した噴射状態を得られる技術が提案されている。

【0012】

特許文献2では、水一流体の冷却で、圧力や流量を独立に制御した二系統の冷却水を単一の噴射口に導入し、冷却条件に応じて冷却水の供給流量を大きく変化させる技術が提案されている。

20

【0013】

特許文献3では、水量域に応じて水一流体スプレーと水空気二流体スプレーを使い分けることで冷却水の供給流量を変化させる技術が提案されている。

【0014】

さらに、特許文献4では、ロール間に二列の水一流体スプレーを設置し、鑄造速度の変化に応じて水を噴射する列を片方若しくは両方で切り換えて冷却する技術が提案されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0015】

【文献】特開2016-7602号公報

特開平5-220550号公報

特開2004-58117号公報

特開昭52-128836号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

特許文献1の技術では、単一のノズルで幅広い冷却水の水量範囲で安定した噴射分布が得られているものの、冷却水の供給圧力を大きく変化させる必要があるので、特に大流量条件では圧力損失が大きくなってしまう。この場合、大量の圧縮空気を必要となるので、大容量のコンプレッサーを設置する必要があり設備コストと運用コストが大きくなってしまふ。

40

【0017】

特許文献2の技術では、圧縮空気は必要とせず、圧力・流量の異なる二系統の冷却水を供給することでノズルからの噴射水量の制御範囲を広げられるとしている。

【0018】

水一流体スプレーの場合、噴射水量はノズルへの水の供給圧力によって制御することができるが、一般に噴射水量は圧力の平方根に比例することが知られている。ターンダウン

50

比を大きくするには圧力比を大きくする必要がある。例えば、40倍のターンダウン比を実現するためには最小・最大の圧力比が1600倍となりポンプの制御能力を超えてしまう。

【0019】

また、供給圧力を下げて水量を小さくした場合には水の噴射角度が設計値よりも小さくなってしまふ危険がある。この結果、冷却面に衝突する水の流量分布が不均一になり冷却むらが発生し、表面温度むらに起因した熱応力による表面割れ（縦割れ）が発生するという問題がある。

【0020】

一方、特許文献3の技術では、低流量域のみで二流体スプレーを使用することで空気の消費量を抑えているものの特許文献1と同様に設備・運用コストに問題がある。二種類の配管とノズルを使用することで圧力損失を抑制し噴射分布の安定性を確保しているが、水二系統と空気一系統の配管を同じロール間のスペースに配置しなければならず、連鑄機の設計負荷および製造コストが増加する。

【0021】

特許文献4の技術では、水一流体二系統とすることで設計は簡素化されるものの、ロール間にスプレーを二列配置するので、ロール間隔を小さくすることが困難になる。ロール間隔を小さくできないことは、鑄片中心部の未凝固溶鋼の静圧によって鑄片幅中央部が膨らむバルジングの抑制に不利であり、鑄片の内部品質不良を招いてしまう。

【0022】

以上のように、大きな設備投資や運用コストを必要とせず高い冷却能力制御性を有し、鑄造速度の大きな変化に対応して高速鑄造を安定的に実現し、更に良好な表面性状や内部品質が得られる二次冷却装置及び二次冷却方法の開発が望まれている。

【0023】

そこで、本発明は、上記の問題を鑑み、設備投資や運用コストを抑え、設備制約の厳しい環境でも適用可能で、高い冷却能力制御性を有した鋼の連続鑄造における二次冷却装置及び方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0024】

(1) 連続鑄造機の二次冷却帯において、複数のガイドローラーによって支持案内される鑄片を一流体水スプレーで冷却する連続鑄造鑄片の二次冷却装置であって、流量特性の異なる二種類以上の水スプレーノズルと、各水スプレーノズルの流量特性に応じた流量の水を供給する複数の水供給ラインと、使用する水供給ラインを切り換える切換装置と、を備え、前記流量特性の異なる二種類以上の水スプレーノズルが、前記ガイドローラー間の隙間に、前記ガイドローラーの回転軸と平行な方向に並べて設置されている冷却ゾーンを有する、連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

(2) 前記水供給ラインの数は、前記水スプレーノズルの種類と同数である、(1)に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

(3) 前記二種類以上の水スプレーノズルのうち、最も噴射流量の多いスプレーノズルによって噴射される水の水量密度は、最も噴射流量が少ないスプレーノズルによって噴射される水の水量密度の20倍以上である、(1)または(2)に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

(4) 前記二種類以上の水スプレーノズルのうち、最も噴射流量の多いスプレーノズルによって噴射される水の水量密度は $500\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $2000\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下であり、最も噴射流量が少ないスプレーノズルによって噴射される水の水量密度は $50\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上 $500\text{ L}/(\text{m}^2 \times \text{min})$ 未満である、(1)から(3)のいずれか1つに記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

(5) 鑄造方向上流側から、垂直帯、曲げ部、湾曲帯、矯正部、水平帯の順で構成される前記連続鑄造機の二次冷却帯において、前記冷却ゾーンが、前記水平帯内に1ゾーン以上設置される、(1)から(4)のいずれか1つに記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置。

(6) (5)に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置を用いて鑄片を二次冷却する連続鑄造鑄片の冷却方法であって、前記水平帯における鑄造方向上流側区間を、噴射された水が鑄片表面で核沸騰状態となる条件で水を噴射して鑄片を冷却する強水冷区間とし、かつ、前記強水冷区間より鑄造方向下流側で前記水平帯末端までの区間を、前記強水冷区間よりも水量密度を低下させ、かつ鑄片表面における冷却液の沸騰状態を核沸騰に維持する弱水冷区間とする、連続鑄造鑄片の二次冷却方法。

【発明の効果】

【0025】

本発明においては、流量特性の異なる二種類以上の水スプレーノズルと、各水スプレーノズルの流量特性に応じた流量の水を供給する複数の水供給ラインと、使用する水供給ラインを切り換える切換装置とを備え、流量特性の異なる二種類以上の水スプレーノズルがガイドローラー間の隙間に、当該ガイドローラーの回転軸と平行な方向に一列に並べて設置されていることにより、ガイドローラー間の隙間を大きくすることなく、高い冷却能力制御性を有し、鑄造速度が変化した場合でも品質低下やトラブルを招くことなく、鑄片を安定的に製造できる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】図1は、本発明の実施の形態に係る二次冷却装置の要部を説明する説明図である。

【図2】図2は、本発明の実施の形態に係る二次冷却装置における水スプレーノズルの配置及び噴射パターンを説明する説明図である。

【図3】図3は、本発明の実施の形態に係る二次冷却装置における水量密度の制御範囲を説明するグラフである。

【図4】図4は、一般的な連続鑄造設備の概要を説明する説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

〔実施の形態1〕

図1は、本発明の実施の形態に係る二次冷却装置の要部を説明する説明図である。図2は、本発明の実施の形態に係る二次冷却装置における水スプレーノズルの配置及び噴射パターンを説明する説明図である。

【0028】

図1、図2に示すように、本実施の形態に係る連続鑄造鑄片の二次冷却装置1は、連続鑄造機の二次冷却帯において、複数のガイドローラー3によって支持、案内される鑄片5を一流体水スプレーで冷却するものである。二次冷却装置1は、流量特性である噴射流量が異なる2種類以上（本実施の形態では4種類）の水スプレーノズル7A、7B、7C、7Dと、各水スプレーノズル7の流量特性に応じた流量の水を供給する複数（本実施の形態では、水スプレーノズル7の種類と同数の4個）の水供給ライン9a、9b、9c、9dと、使用する水供給ライン9を切り換える切換装置としての第1切換バルブ11、第2切換バルブ13、第3切換バルブ15の3つを備える。水スプレーノズル7A、7B、7C、7Dがガイドローラー3間の隙間に、ガイドローラー3と平行な方向に一列に並べて設置されて冷却ゾーンが構成される。

【0029】

ガイドローラー3は、鑄片5を上下で挟んで回転することで、鑄片5に鑄造方向への引き抜き力を与える。一つのセグメントに複数のガイドローラー3が所定の間隔で配設されている。鑄造方向で隣接するガイドローラー3間には、所定の隙間が設けられており、この隙間に水スプレーノズル7が設置されている。設備の規模にもよるが、例えば、水平帯には、100近くのガイドローラー3が、鑄造方向に所定の間隔で配設されており、複数（例えば10本）のガイドローラー3は一つのセグメントとして構成されて一つのまとまりとして流量制御が可能になっている。水平帯には、例えば、10個のセグメントが設置される。

【0030】

4種類の水スプレーノズル7A、7B、7C、7D（水スプレーノズル群）は、図2に示すように、ガイドローラー3の隙間に、ガイドローラー3の回転軸と平行な方向に一直列に並べて設置されている。これらの水スプレーノズル群によって冷却されるゾーンを冷却ゾーンという。水平帯には、当該冷却ゾーンが1ゾーン以上設置される。図1、2では、水スプレーノズル7Aが2個、水スプレーノズル7Bが3個、水スプレーノズル7Cが2個、水スプレーノズル7Dが4個、図示されている。しかしながら、これらの個数は設置されるノズル数を全て示しているものではなく、一部が省略されており、実際には、いずれの水スプレーノズル7が選択された場合であっても、鋳片5の幅方向の全幅をカバーできるように各水スプレーノズル7の数が設定される。

【0031】

本実施の形態では、流量特性の異なる複数種類の水スプレーノズル7を一直列に配置しているので、種類ごとに鋳片5幅方向の配置される位置が異なっている。図2に示すように、異なる配置のどの種類の水スプレーノズル7が選択された場合でも鋳片5の幅方向で隙間なくカバーできるように、水スプレーノズル7の噴射角度を異ならせている。

【0032】

使用する水スプレーノズル7は、噴射された水が扇形もしくは充円錐形や充角錐形に広がり、被冷却面（2本のガイドローラー3に挟まれた鋳片の上下表面）での水量密度分布の均一性が高いノズルを用いることが好ましい。このため、水スプレーノズル7の列が受け持つ被冷却面に対して均一に冷却水を噴射できるように、水スプレーノズル7から噴射される水が、他の水スプレーノズル7から噴射される水に干渉しないように各水スプレーノズル7を調整することが好ましい。例えば、扇形に水が広がる水スプレーノズル7を用いた場合には、水スプレーノズル7の噴射面が直線上に並ばないように、噴射方向を調整することが好ましい。例えば、噴射した水が充円錐形や充角錐形となる水スプレーノズル7を用いた場合には、水スプレーノズル7から噴射される水と他の水スプレーノズル7から噴射される水との干渉が最小になるように、各水スプレーノズル7の配置間隔を調整することが好ましい。

【0033】

図3は、本発明の実施の形態に係る二次冷却装置における水量密度の制御範囲を説明するグラフである。図3を用いて、4種類の水スプレーノズル7の種類ごとの流量特性を説明する。図3の縦軸は水量密度（ $L / (m^2 \times min)$ ）であり、横軸は供給圧力（MPa）である。水量密度とは、水スプレーノズル7の列から噴射される水の総水量（ L / min ）を、水スプレーノズル7の列が受け持つ被冷却面の面積（ m^2 ）で除して算出される値である。

【0034】

図3に示す水量密度は、水スプレーノズル7の種類毎、例えば水スプレーノズル7Aが3個設けられるとすれば、3個の平均の水量密度である。水スプレーノズル7A、7B、7C、7Dの水量密度は、供給圧力が0.1～0.5（MPa）の範囲で、それぞれ、A：50～150（ $L / (m^2 \times min)$ ）、B：150～370（ $L / (m^2 \times min)$ ）、C：370～880（ $L / (m^2 \times min)$ ）、D：880～2000（ $L / (m^2 \times min)$ ）である。

【0035】

したがって、水スプレーノズル7Aを選択して供給圧力を0.1（MPa）とした場合には最小の水量密度50（ $L / (m^2 \times min)$ ）となり、水スプレーノズル7Dを選択して供給圧力を0.5（MPa）とした場合には最大の水量密度2000（ $L / (m^2 \times min)$ ）となる。すなわち、本実施の形態の水スプレーノズル7は、圧力比が5倍でターndown比を40倍にできる。

【0036】

水供給ライン9は、水スプレーノズル7A、7B、7C、7Dの4種類の流量特性に応じた流量の水を供給するために、本実施の形態では、4種類設けられている。

【0037】

例えば、水スプレーノズル 7 A に水を供給する水供給ライン 9 a は、主供給ライン 1 7 に直接又は間接的に接続されたヘッダ部 9 a 1 と、基端がヘッダ部 9 a 1 に接続され先端に水スプレーノズル 7 A が接続された複数の分岐管 9 a 2 とを備えている。そして、ヘッダ部 9 a 1 及び各分岐管 9 a 2 は水スプレーノズル 7 A の流量特性に応じてヘッダ部 9 a 1 の容量及び分岐管 9 a 2 の径が設定されている。水スプレーノズル 7 B、7 C、7 D に水を供給する水供給ライン 9 b、9 c、9 d についても同様である。

【0038】

各水供給ライン 9 に水を供給する主供給ライン 1 7 には図示しない供給ポンプが接続されている。通常、供給ポンプからは、水スプレーノズル 7 A、7 B、7 C、7 D の 4 種類について、各々最大流量が噴射可能な圧力以上の一定の圧力で冷却水が供給される。そして、水スプレーノズル 7 A、7 B、7 C、7 D に水を供給する水供給ライン 9 a、9 b、9 c、9 d 内に設けられたバルブの開度を制御して各水スプレーノズル 7 に供給される冷却水の圧力を変更する。供給ポンプの吐出圧を変更することで、供給水の圧力を変更してもよい。

【0039】

選択された水スプレーノズル 7 の種類と、必要とされる水量密度によって必要とされる供給圧力が異なるので、これを水供給ライン 9 a、9 b、9 c、9 d 内に設けられたバルブの開度制御や、供給ポンプの駆動制御によって変更できるようにしている。

【0040】

第 1 切換バルブ 1 1 ～第 3 切換バルブ 1 5 は、どの水供給ライン 9 に水を流すかを切り換えるバルブであり、4 方弁によって構成される。4 方弁で構成されることで、一つの水供給ライン 9 にのみ水を供給し、他の三つの水供給ライン 9 には水が供給されないように流路を切り換えることができる。

【0041】

上記のように構成された本実施の形態では、ガイドローラー 3 の各隙間に設置された水スプレーノズル 7 A、7 B、7 C、7 D は、冷却条件、すなわち必要とされる水量密度に応じて、1 種類が選択され、選択された水スプレーノズル 7 に応じた流量の水が供給ポンプから水供給ライン 9 a、9 b、9 c、9 d を介して供給される。

【0042】

例えば、必要とされる水量密度が $50 \text{ (L / (m}^2 \times \text{min))}$ の場合には、 0.1 (MPa) の圧力の冷却水が水供給ライン 9 a に供給され、水スプレーノズル 7 A から吐出される。冷却水は供給ポンプより吐出圧力 0.5 (MPa) で水供給ライン 9 a に供給され、水供給ライン 9 a 内に設置されたバルブ（図示せず）の開度を小さくする制御が行われ、 0.1 (MPa) に減圧されて水スプレーノズル 7 A に供給される。第 1 切換バルブ 1 1 ～第 3 切換バルブ 1 5 の操作は、手動又は自動で行われる。自動で行う場合には、図示しない制御部の制御信号によって、図示しないアクチュエータを作動させて、鑄造速度に応じて第 1 切換バルブ 1 1 ～第 3 切換バルブ 1 5 を操作すればよい。

【0043】

本実施の形態によれば、鑄造速度が変化しても、弱冷条件から強冷条件までを、図 3 の供給圧力と水量密度の関係に示すように、水スプレーノズル 7 A ～7 D へ切り換えることで、圧力比を 5 倍に抑えながらターンダウン比 40 倍を実現できる。これにより、大きな設備投資や運用コストを必要とせず、高速鑄造を安定的に実現し、更に鑄片 5 の良好な表面性状や内部品質が得られる。

【0044】

上記の説明では、ガイドローラー 3 とガイドローラー 3 の一つの隙間に設置する水スプレーノズル 7 A ～7 D 及び水供給ライン 9 a ～9 d の構成について説明したが、連続鑄造機の整備を効率的に行うためには、各セグメントの設計は共通であることが好ましい。そのため同一の構成で広い水量密度範囲に制御できる二次冷却装置、つまり、冷却水の水量密度の制御可能な最小値と最大値の比（ターンダウン比）が大きな二次冷却装置が求められる。

10

20

30

40

50

【0045】

そこで、例えば、水平帯を構成する全てのセグメントについて共通の仕様にして、どのセグメントであっても大きなターンダウン比で冷却できるようにし、鑄造方向のどの位置であっても、同様に冷却制御できるようにすることが好ましい。

【0046】

上記のような幅広い冷却条件に対応可能なターンダウン比は20倍以上（ $50 \sim 1000 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ ）であることが好ましく、40倍程度（ $50 \sim 2000 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ ）であることがより好ましいことが発明者の検討により分かっている。

【実施の形態2】

次に、上記の実施の形態1で説明した二次冷却装置1を用いた二次冷却方法について説明する。

【0047】

実施の形態1で説明した二次冷却装置1を用いることで、鑄造速度が変化する場合にも、好適な二次冷却方法が実現できるが、二次冷却装置1を用いることでさらに冷却水量を低減しつつ鑄造速度を高めることができる。この点について以下説明する。

【0048】

背景技術で説明したように、鑄片5は鑄型を出た後、垂直帯23から水平帯31にかけて中心部まで凝固を完了させるために水スプレー（水一流体スプレーや水-空気二流体混合ミストスプレー）を使った二次冷却を実施している。二次冷却は鑄型直下から湾曲帯27に入るまでの垂直帯23において大流量の水を噴射して強冷却を実施することでシェルの強度を確保している。湾曲帯27以降では逆に冷却を弱め、内部の高温部からの熱伝導によって表面温度を上昇（復熱）させている。そして矯正帯において表面温度が脆化温度域以上になるように調整し、横割れの発生を回避している。

【0049】

一方、中心部については生産性の向上のために鑄造速度を上げると未凝固のまま矯正部29を通過することになる。このため、更に鑄造速度を増加するには、水平帯で確実に凝固させるために水平帯31前段の水量を増加させて強冷却条件で冷却することが必要になる。

【0050】

特に、安定した強冷却条件を実現するためには鑄片5の表面で冷却水が核沸騰状態にあることが好ましい。ここで、核沸騰とは、発泡点を核として気泡が発生し、冷却液が、冷却対象から非常に高い熱を奪うことのできる沸騰状態である。核沸騰に至っていない沸騰状態を膜沸騰という。膜沸騰は、冷却液と冷却対象の境界に蒸気の膜が生じ、それが断熱層となり、冷却液が、冷却対象から奪うことのできる熱量が小さい沸騰状態である。

【0051】

発明者は、鑄片5が強冷却帯に進入して速やかに核沸騰状態を実現するための水量密度を検討した結果、 $500 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上必要であることが分かった。核沸騰状態では冷却能力の流量依存性が小さくなるため、冷却水の供給能力を過剰に大きくする必要は無く、水量密度 $2000 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以下とすればよいことも分かった。

【0052】

更に、大流量の冷却水で一旦核沸騰状態が実現され鑄片表面温度が低下すれば、大量の冷却水を噴射せずとも核沸騰は維持できる。そのため、連続鑄造機全体で使用できる冷却水の総量に制限がある場合などは、強冷却帯の後段の水量密度を $500 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 未満に水量を絞っても構わない。ただし、発明者らの検討の結果、水量密度が $50 \text{ L} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ 以上でなければ安定して核沸騰状態を維持できないことも分かった。

【0053】

このように、水平帯31においてはその前段において大流量で核沸騰状態での強冷却を行い、後段では核沸騰を維持する程度の小流量での強冷却を行うことで、冷却水量を低減しながら鑄造速度を増大できる。

【0054】

すなわち、本実施の形態の連続鑄造鑄片の二次冷却方法は、鑄造方向上流側から、垂直帯23、曲げ部25、湾曲帯27、矯正部29、水平帯31の順で構成される連続鑄造機の二次冷却帯において、実施の形態1に記載の連続鑄造鑄片の二次冷却装置1を用いて鑄片5を二次冷却する連続鑄造鑄片の冷却方法である。二次冷却帯の水平帯31における鑄造方向上流側区間は、噴射された冷却水が鑄片表面で核沸騰状態となる条件で冷却水を噴射して鑄片5を冷却する強水冷区間であり、かつ、当該強水冷区間よりも鑄造方向下流側であって水平帯31の末端までの区間は、冷却水の水量密度を低下させ、かつ鑄片表面における冷却液の沸騰状態を核沸騰に維持する弱水冷区間である。このように強水冷区間および弱水冷区間を設定することにより、冷却水量を低減しつつ鑄造速度を高めることができる。

10

【0055】

核沸騰を実現する強水冷区間として、水平帯31の最上流部に個別に水量密度を制御できる最小の水量制御区間が1つあればよい。核沸騰が実現すれば、それ以降の区間では、核沸騰を維持するための最小限の水量密度で冷却すればよく、これにより、核沸騰による冷却を安定して行うことができる。

【0056】

冷却水が鑄片表面に接触して沸騰すると、気化して水蒸気となる。この水蒸気が空気中で凝結した湯気（水煙）が観察される。ここで、核沸騰状態では、鑄片表面に接触した冷却水は激しく発泡して、大量の水蒸気が発生するので、水煙の発生量が多くなる。これに対して、膜沸騰状態では、沸騰する冷却水の発泡が少ないので、水蒸気および水煙の発生量も少なくなる。

20

【0057】

そこで、各区間にカメラを設置し、水煙の発生量を、目視による観測や透過率計による計測により監視する。予め、実験により核沸騰と膜沸騰とを区別する水煙の発生量の閾値を求めておき、当該水煙の発生量が閾値を超えるか否かを確認することで、所定の区間で核沸騰状態が達成できているか確認できる。そして、核沸騰状態が達成できていない場合には冷却水の水量を増やすように調整する。これにより、確実に核沸騰状態を達成および維持できる。

【0058】

沸騰を含めた対流熱伝達において、流体温度と固体温度とは両者が接触する点で局所的に等しくなる。大気圧下において液体状態の水は沸点までしか温度が上昇しないので、核沸騰が実現されていれば、鑄片の表面温度も約100℃になっていると考えられる。このため、小型のプロブを有する接触式の温度計を用いて鑄片表面と周囲の冷却水の温度を測定し、当該温度が100℃近傍で安定していることを確認することによって核沸騰状態が達成できているか確認できる。そして、核沸騰状態が達成できていない場合には冷却水の水量を増やすように調整する。これにより、確実に核沸騰状態を達成および維持できる。

30

【0059】

水平帯31を構成する各セグメントの設計を共通にすることで、同一の構成で広い噴射水量範囲に制御でき、さらには連続鑄造機の整備を効率的に行うことができる。

【0060】

強水冷区間の範囲は、鑄片厚さや鋼種によって異なるため、鑄造方向すなわち鑄片5の長手方向で柔軟に変更できることが好ましい。

40

【0061】

このためには、実施の形態1で説明したように、ターンダウン比を大きくとれる二次冷却装置1が、水平帯31を構成する全てのセグメントに設置されていることが好ましい。

【実施例】

【0062】

実施の形態1の二次冷却装置1（図1、図2参照）を水平帯31に設置した垂直曲げ型の連続鑄造機（図4参照）を用いて鑄片5を製造して、本発明の効果を確認した実施例を説明する。

50

【0063】

水スプレーノズル7は、四種類使用する設計としたが、一部の実施例では使用するノズル種を限定している。連続鑄造機の機長は45mで、機端には鑄片表面の温度分布を測定する温度計とガス切断機33が設置されている。

【0064】

冷却条件や鑄造速度、スラブ厚を変化させて鑄片5を製造し、冷却中の温度むらや鑄造後の表面性状や内部欠陥、製造コストを評価した。

【0065】

製造条件と評価を下記の表1に示す。表中、本発明例の範囲のものを実施例1～5とし、発明範囲を外れるものを比較例1～7としている。

【0066】

一部の比較例では事前の数値解析による検討の結果、コストの問題から実際には設備を製作せず、製造を行っていないものもある。

【0067】

【表1】

	スラブ厚 [mm]	鑄造速度 範囲 [mpm]	使用ノズル		設定水量密度			水供給 圧力比	ノズル 列数	欠陥	導入・運用 コスト	備考
			冷媒	種類	最小	最大	比					
比較例1	235	0.2～1.8	一流体	1	10	100	10	100	1	表面割れ	小	圧損大、流量分布悪化
比較例2	200	0.2～2.3	一流体	1	10	100	10	100	1	表面割れ	小	圧損大、流量分布悪化
比較例3	260	0.2～1.3	一流体	1	10	100	10	100	1	表面割れ	小	圧損大、流量分布悪化
比較例4	235	0.2～2.0	二流体	1	10	200	20	30	1		大	事前検討のみ
比較例5	235	0.2～2.0	一/二流体	2	10	200	20	5	1		大	事前検討のみ
比較例6	235	0.2～2.0	一流体	2	50	1000	20	5	2	内部割れ・ 中心偏析悪化	小	バルジング大
実施例1	235	0.2～2.7	一流体	2	50	1000	20	5	1		小	流量変化連続的
実施例2	235	0.2～3.0	一流体	4	50	2000	40	5	1		小	流量変化連続的
実施例3	200	0.2～3.3	一流体	4	50	2000	40	5	1		小	流量変化連続的
実施例4	260	0.2～2.8	一流体	4	50	2000	40	5	1		小	流量変化連続的
実施例5	235	0.2～3.0	一流体	2	50	2000	40	2	1		小	流量変化連続的
実施例6	235	0.2～2.5	一流体	2	50	550	11	2	1		小	強水冷区間の水平帯入ロゾン では500L/(m ² ×min)以上を維持
実施例7	235	0.2～3.0	一流体	2	400	2000	5	5	1		小	機端に冷却水停止区間有
実施例8	235	0.2～2.6	一流体	2	45	900	20	5	1	軽微な 表面割れ	小	温度偏差有

比較例1および実施例1、2では、235mm厚の鑄片5をそれぞれ従来技術の条件と本発明の技術を適用した条件とで製造した。

【0068】

比較例1では一流体スプレーで冷却し、鑄造速度高速化のために途中大流量条件で冷却する区間を設定した。設定水量密度の最小値を10L/(m²×min)、最大値を100L/(m²×min)として目標ターndown比を10倍とした。

【0069】

しかしながら、この比較例1では、冷却水の供給圧力比が100倍となり実際には圧損のために目標通りのターndownは実現できなかった。そのため鑄造速度の最高値は1.8mpmに制限された。大流量条件ではスプレーの冷却パターンが不均一になり、冷却によって鑄片表面に温度むらが発生した。その結果、表面に不均一な熱応力が生じて、鑄造後に表面を検査したところ表面割れが確認された。

【0070】

一方、実施例1では本発明の技術を適用して、2種類の水スプレーノズルおよび水供給ライン9を使用し、水の供給圧力比5倍でターndown比20倍(最小50L/(m²×min)～最大1000L/(m²×min))を安定的に実現できた。従来技術を用い

て製造した場合よりも大流量の強冷却条件が安定的に実現されたことで、鑄造速度の上限を1.8 mpmから2.7 mpmまで高めることができた。製造後に検査したところ割れなどの欠陥は認められなかった。加えて、一流体スプレーのため、エアコンプレッサーを必要とせず設備の導入コスト、運用コストを抑えることができた。

【0071】

実施例2では、4種類のノズルおよび配管を使用し、水の供給圧力比5倍でターンダウン比40倍（最小50 L / (m² × min) ~ 最大2000 L / (m² × min)）を安定的に実現できた。従来技術を用いて製造した場合よりも大流量の強冷却条件が安定的に実現されたことで、鑄造速度の上限を1.8 mpmから3.0 mpmまで更に高めることができた。製造後に検査したところ割れなどの欠陥は認められなかった。

10

【0072】

比較例2、3および実施例3、4はそれぞれ比較例1および実施例2と同様の冷却条件でスラブ厚を200 mmと260 mmに変更した例である。

【0073】

スラブ厚を235 mmから200 mmに薄くした場合、鑄造速度を上昇することができるが、比較例2では比較例1と同様に冷却むらによって表面割れが発生した。一方、実施例3では欠陥は発生せず、鑄造速度も最高で3.3 mpmとなり、比較例2の最高2.3 mpmよりも増速することができた。

【0074】

スラブ厚を235 mmから260 mmに厚くした場合、最高鑄造速度が制限される上に比較例3では比較例1と同様に冷却むらによって表面割れが発生した。

20

【0075】

一方、実施例4では最高鑄造速度は2.8 mpmとなり、比較例3の最高1.3 mpmよりも高速で鑄造可能であり、欠陥を生じることなく製造することができた。

【0076】

比較例4は二種類の二流体スプレーを用いた場合の検討結果である。ノズルの能力評価の段階では、冷却水の供給圧力比30倍でターンダウン比が20倍（最小10 L / (m² × min) ~ 最大200 L / (m² × min)）となり、比較例1~3と比べて小さな圧力比で高ターンダウンを実現できることが分かった。

【0077】

しかし、高圧、大流量の圧縮空気を供給する必要があるため、一流体スプレーのみを用いた実施例1などよりもエアコンプレッサーの導入コストと運用中のエネルギーコストが大きくなるので設備導入は見送った。

30

【0078】

一方、比較例5は一流体スプレーと二流体スプレーを切り換えて使用する方法で、比較例4よりも更に低い圧力比（5倍）で高いターンダウン比（20倍）が実現できたが、この場合も実施例1に比べてコスト面で劣ったので設備導入は見送った。

【0079】

比較例6は二種類の一流体スプレーノズルを使用して圧力比5倍でターンダウン比20倍（最小50 L / (m² × min) ~ 最大1000 L / (m² × min)）を実現した例である。この例では、ガイドロールの間隔を広げ、二種類のノズルをロールと平行に二列で配置した。この冷却装置を二次冷却帯の内で高ターンダウン比が求められる一部のセグメントにのみ導入して実験を行った。水量密度の範囲とターンダウン比は実施例1と等しいものの、スプレーノズルを二列で配置した結果、ロール間隔が広くなりバルジング量が大きくなった。このため、鑄造後の鑄片5を検査したところ内部割れが認められ、中心偏析の程度も悪化した。

40

【0080】

実施例5は二種類の一流体スプレーノズルを使用して圧力比2倍でターンダウン比を40倍（最小50 L / (m² × min) ~ 最大2000 L / (m² × min)）とした例である。ただし、この例では冷却能力の制御範囲を弱冷却と強冷却の二水準に限定したので

50

、各水スプレーノズルの流量制御範囲を小さくすることで供給圧力比を5倍から2倍により小さくできた。

【0081】

一方で、冷却装置全体の流量の制御範囲は断続的になっている。この例では、実施例1や実施例2と比べて鑄造速度の変動に対する冷却能力の制御性は劣るものの、同程度の高速鑄造が可能であり、製造後の鑄片5にも欠陥は認められなかった。

【0082】

実施例6は二種類の一流体スプレーノズルを使用して圧力比2倍でターンダウン比を1.1倍（最小50 L / (m² × min) ~ 最大550 L / (m² × min)）とした例である。

10

【0083】

この例では、最大の水量密度を核沸騰が維持できる範囲で小さくしたので、鑄造速度の上限は2.5 mpmとなり、スラブ厚が同じ235 mmの実施例1、2、および5と比べて鑄造速度上昇代は少なくなった。操業上の問題はなく、製造後の鑄片5にも欠陥は認められなかった。

【0084】

実施例6は二種類の一流体スプレーノズルを使用して圧力比2倍でターンダウン比を1.1倍（最小50 L / (m² × min) ~ 最大550 L / (m² × min)）とした例である。

【0085】

この例では、最大の水量密度を核沸騰が維持できる範囲で小さくしたので、鑄造速度の上限は2.5 mpmとなり、スラブ厚が同じ235 mmの実施例1、2、および5と比べて鑄造速度上昇代は少なくなった。操業上の問題はなく、製造後の鑄片5にも欠陥は認められなかった。

20

【0086】

実施例7は二種類の一流体スプレーノズルを使用して圧力比5倍でターンダウン比を5倍（最小400 L / (m² × min) ~ 最大2000 L / (m² × min)）とした例である。

【0087】

この例では、最小の水量密度を大きくしたので、鑄片の冷却が速く、鑄造速度の上限は3.0 mpmとなり、かつ弱水冷区間より機端側で冷却水の噴射を停止した。操業上の問題はなく、製造後の鑄片5にも欠陥は認められなかった。

30

【0088】

実施例8は二種類の一流体スプレーノズルを使用して圧力比5倍でターンダウン比を2.0倍（最小45 L / (m² × min) ~ 最大900 L / (m² × min)）とした例である。この例では、最小の水量密度を小さくしたので、核沸騰を速やかに実現することができず、鑄片の幅方向で温度偏差が発生した。このため、鑄片に軽微な表面割れが発生したものの鑄造速度の上限は2.6 mpmとなった。

【0089】

以上のように、ターンダウン比を大きくとることができる二次冷却装置1を用いることで、鑄造速度の変動に対する二次冷却の制御性が高まり、鑄造速度を大きくしながらも高品質の鑄片5の製造が実現できることが実証された。上記実施例では水平帯31に本発明を適用した例を示したが、水平帯31よりも上流側の他の冷却帯に適用してもよく、複数の冷却帯にまたがって適用してもよい。

40

【符号の説明】

【0090】

- 1 二次冷却装置
- 3 ガイドローラー
- 5 鑄片
- 7A、7B、7C、7D 水スプレーノズル

50

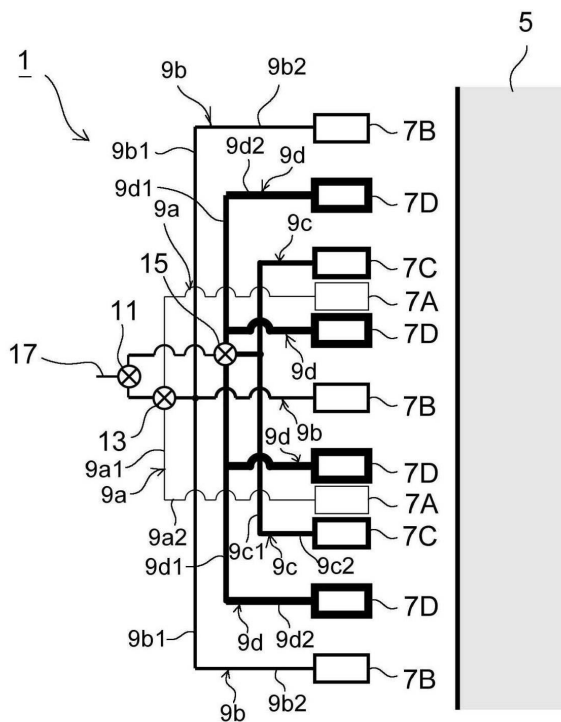
- 9 a、9 b、9 c、9 d 水供給ライン
 9 a 1、9 b 1、9 c 1、9 d 1 ヘッド部
 9 a 2、9 b 2、9 c 2、9 d 2 分岐管
 1 1 第 1 切換バルブ
 1 3 第 2 切換バルブ
 1 5 第 3 切換バルブ
 1 7 主供給ライン

<従来例>

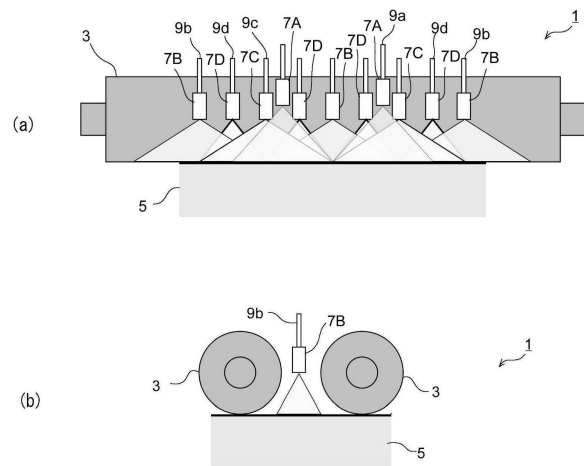
- 2 1 鋳型
 2 3 垂直帯
 2 5 曲げ部
 2 7 湾曲帯
 2 9 矯正部
 3 1 水平帯
 3 3 ガス切断機

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

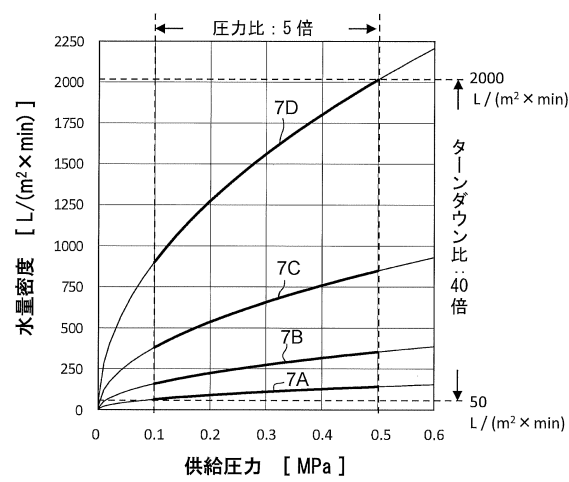
20

30

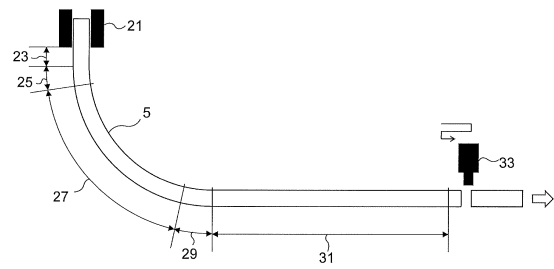
40

50

【図 3】



【図 4】



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 ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者 上岡 悟史
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥスチール株式会社内
審査官 池ノ谷 秀行
(56)参考文献 実開昭５２－０１１０１２（ＪＰ，Ｕ）
特開２０１９－０３４３４２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－０７７１６２（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２２Ｄ １１／００－１１／２２