

(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2017-24079

(P2017-24079A)

(43) 公開日 平成29年2月2日 (2017. 2. 2)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 2 2 D 11/128 (2006.01)	B 2 2 D 11/128 3 5 0 A	4 E 0 0 4
B 2 2 D 11/20 (2006.01)	B 2 2 D 11/20 C	
B 2 2 D 11/16 (2006.01)	B 2 2 D 11/16 C	
B 2 2 D 11/04 (2006.01)	B 2 2 D 11/04 3 1 1 E	
	B 2 2 D 11/04 3 1 1 G	
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 25 頁)		

(21) 出願番号	特願2016-143910 (P2016-143910)	(71) 出願人	000001258
(22) 出願日	平成28年7月22日 (2016. 7. 22)		J F E スチール株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2015-144536 (P2015-144536)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(32) 優先日	平成27年7月22日 (2015. 7. 22)	(74) 代理人	100126701
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 井上 茂
		(74) 代理人	100130834
			弁理士 森 和弘
		(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	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
最終頁に続く			

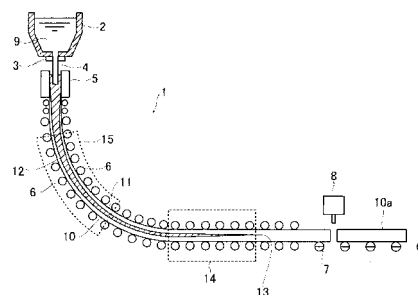
(54) 【発明の名称】 鋼の連続鑄造方法

(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を防止すると同時に、鑄片の厚み中心部に発生する中心偏析を効果的に抑制する。

【解決手段】鑄型内壁面の少なくともメニスカスを含む領域に、鑄型銅板とは異なる熱伝導率の金属が充填された複数個の異熱伝導金属充填部を有し、且つ、異熱伝導金属充填部が配置された領域における異熱伝導金属充填部の面積率が10%以上80%以下である鑄型5を用いた連続鑄造方法であって、未凝固層12を有する鑄片10の厚みを、鑄型出口での厚みに対して0mm超え20mm以下の総バルジング量で拡大させ、その後、軽圧下帯14で、鑄片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、圧下速度と鑄造速度との積が0.10~1.0mm・m/min²となる圧下力で、総バルジング量と同等またはそれよりも小さい圧下総量で鑄片長辺面を圧下する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水冷式銅鑄型の内壁面の少なくともメニスカスを含む領域の鑄型銅板の内壁面に、鑄型銅板の熱伝導率に対する熱伝導率の差の比率が 15% 以上である金属が前記内壁面に設けられた凹溝の内部に充填されて形成された複数の異熱伝導金属充填部を有し、且つ、前記異熱伝導金属充填部が配置された領域の鑄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の面積の総和の比である面積率が 10% 以上 80% 以下の範囲である連続鑄造用鑄型を用い、タンディッシュ内の溶鋼を前記鑄型内に注入して連続鑄造する鋼の連続鑄造方法であって、

連続鑄造機に配置さ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て内部に未凝固層を有する矩形の鑄片の長辺面を、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、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、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、圧下速度と鑄造速度との積が $0.10 \sim 1.0 \text{ mm} \cdot \text{m} / \text{min}^2$ となる圧下力を鑄片長辺面に付与し、この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鑄片長辺面を圧下することを特徴とする、鋼の連続鑄造方法。

【請求項 2】

前記異熱伝導金属充填部は、前記鑄型銅板の内壁面の鑄型幅方向及び鑄造方向に周期的な熱抵抗分布と熱流束分布を形成することを特徴とする、請求項 1 に記載の鋼の連続鑄造方法。

【請求項 3】

前記複数の異熱伝導金属充填部はそれぞれ独立していることを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載の鋼の連続鑄造方法。

【請求項 4】

前記凹溝は、円形または擬似円形であ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鋼の連続鑄造方法。

【請求項 5】

前記異熱伝導金属充填部を形成する金属の線膨張係数は、鑄型銅板の線膨張係数に対する差の比率を 30% 以下とする線膨張係数であることを特徴とする、請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の鋼の連続鑄造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鑄型内での凝固シェルの不均一冷却に起因する鑄片表面割れを抑制すると同時に、鑄片の厚み中心部に生成される成分偏析つまり中心偏析を抑制する鋼の連続鑄造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

鋼の連続鑄造では、鑄型内に注入された溶鋼は水冷式鑄型によって冷却され、鑄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鑄片は、鑄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鑄型下方に連続的に引き抜かれる。鑄片は、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断されて、所定長さの鑄片が製造されている。

【0003】

鑄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鑄片の鑄造方向及び鑄型幅方向で不均一になり、その結果、凝固シェルの表面は平滑にならない。凝固シェルには、

10

20

30

40

50

凝固シェル自体の収縮や変形に起因する応力が作用し、特に、凝固の初期段階で凝固シェル厚みが不均一になると、当該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微細な縦割れが発生する。この微細な縦割れは、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。微細な縦割れの一部は、その後の熱応力や連続鑄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って拡大し、大きな縦割れとなる。鑄片に存在する縦割れは、次工程の圧延工程で表面欠陥になることから、鑄造後の鑄片の段階において、鑄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。

【 0 0 0 4 】

また、鑄型は鑄造方向に振動（「オシレーション」ともいう）しており、この鑄型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形状の「爪状突起」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する空隙が拡大して、凝固シェルの爪状突起が拡大する。溶鋼側に張り出した爪状突起が拡大することによって、メニスカス（鑄型内溶鋼湯面）において、溶鋼中を浮上する非金属介在物や気泡が爪状突起に捕捉され、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。

【 0 0 0 5 】

鑄片の縦割れに起因する鋼板の表面欠陥、及び、爪状突起に捕捉された非金属介在物、気泡に起因する鋼板の表面欠陥の発生傾向は、連続鑄造機における鑄造速度（「鑄片引き抜き速度」ともいう）の増加に伴って高まる。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圧延（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みの不均一な成長及び爪状突起の発生を抑制することは、経済的に極めて有利である。

【 0 0 0 6 】

凝固の初期段階における不均一冷却を防止するためには、凝固の初期段階で均一且つ緩やかな冷却を行ない、凝固シェルの厚みを均一に成長させる必要がある。また、凝固の初期段階で均一且つ緩やかな冷却を行なうことで、凝固シェルは平滑になり、凝固シェルの爪状突起の生成を抑制することも可能になる。

【 0 0 0 7 】

この点に関して、非特許文献1は、厚み280mm、幅280mmのビレット鑄片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、鑄型内壁面に凹凸を付与することが有効であると記載している。また、特許文献1は、不均一冷却に伴う縦割れや、爪状突起の発生を抑制して鑄片の表面性状を図る手段として、直径または幅が3～80mm、深さが0.1～1.0mmの凹部を鑄型内壁面に設けることを提案している。更に、特許文献2は、スラブ鑄片の縦割れを防止する手段として、鑄型長辺幅方向の少なくとも中央部の内壁面に、モールドパウダーの粘性率に応じた溝幅及び溝深さを設定した溝をメニスカスに交叉して形成することを提案している。

【 0 0 0 8 】

これらの技術は、いずれもメニスカスにモールドパウダーを投入し、鑄型と凝固シェルとの隙間に溶融したモールドパウダーを流入させ、且つ、鑄型内癖面に設けた凹凸部で空気層やモールドパウダー層を形成し、形成した空気層やモールドパウダー層の断熱性を利用して緩やかな冷却を実現しようとする技術である。

【 0 0 0 9 】

しかしながら、これらの技術を実機の連続鑄造操業に適用すると種々の問題が生じる。例えば、幅変更が可能なスラブ連続鑄造機の鑄型は鑄型長辺と鑄型短辺との組み合わせ鑄型であるので、鑄型長辺の内癖面に設けた凹部が鑄型コーナー部に一致する場合には、鑄型長辺の凹部は鑄型短辺で覆われず、鑄型内に溶鋼を注入して連続鑄造を開始する際に、

10

20

30

40

50

溶鋼または溶鋼のスブラッシュが鑄型コーナー部の凹部に差し込むという問題が発生する。また、連続鑄造の途中で浸漬ノズルやタンディッシュを交換するときは、鑄型内の溶鋼湯面位置を定常鑄込み状態の溶鋼湯面位置よりも低下させることから、浸漬ノズル交換またはタンディッシュ交換後、溶鋼の鑄型内への再注入時に、溶鋼や溶鋼のスブラッシュが鑄型コーナー部の凹部に差し込むという問題も発生する。

【 0 0 1 0 】

溶鋼が凹部に差し込と、鑄型の幅変更が阻害されるのみならず、凝固シェルと鑄型とが固着して、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原因になる。

【 0 0 1 1 】

ところで、連続鑄造鑄片の厚み中心部は、鋼材の品質を劣化させる中心偏析が発生しやすい。このため、連続鑄造鑄片では、鑄片表層部の縦割れ、非金属介在物、気泡を軽減することのみならず、鑄片中心部の中心偏析を軽減することも要求されている。

【 0 0 1 2 】

この中心偏析の生成機構は、以下のように考えられている。即ち、鋼の凝固過程における最終凝固部では、炭素、燐、硫黄などの溶質元素が、未凝固部であるデンドライト樹間に濃縮される。また、鋼が凝固すると体積収縮が起こり、この凝固収縮に伴って生成する負圧を解消するべく、連続鑄造鑄片の場合には、鑄片の引き抜き方向へ溶鋼が吸引されて流動する。しかし、連続鑄造鑄片の凝固末期の未凝固層には十分な量の溶鋼が存在しないので、炭素、燐、硫黄などの溶質元素が濃化されたデンドライト樹間の溶鋼（濃化溶鋼という）が流動をおこし、それが鑄片厚み方向中心部に集積して凝固する。溶質成分の濃縮された溶鋼が集積して凝固することで、鑄片厚み中心部に溶質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。凝固末期に濃化溶鋼が流動する要因としては、上記の凝固収縮の他に、溶鋼静圧による鑄片凝固シェルのロール間でのバルジング（膨らみ）や、鑄片支持ロールのロールアライメントの不整合なども挙げられる。

【 0 0 1 3 】

鑄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濃化溶鋼の移動を防止すること、及び、この濃化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。

【 0 0 1 4 】

その1つとして、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、凝固収縮量と熱収縮量との和に相当する程度の総圧下量及び圧下速度で、圧下ロール群（「軽圧下帯」という）によって徐々に圧下しながら鑄造する方法（「軽圧下」と呼ばれる）が広く行われている。ここで、総圧下量とは、圧下開始から圧下終了までの圧下量である。

【 0 0 1 5 】

この軽圧下方法は、デンドライト樹間に存在する濃化溶鋼の移動を防止することによって、中心偏析を防止する技術である。但し、凝固収縮量を若干上回る程度の総圧下量で十分であることから、圧下力は弱い。つまり、軽圧下方法においては、圧下力が弱いことから、鑄片の凝固完了位置が鑄片幅方向で同一位置でないときには、すでに凝固完了した部位が圧下抵抗になり、圧下すべき未凝固の部位に圧下力が付与されないことが発生する。このような場合、圧下力が付与されない部分では中心偏析の改善効果は少ない。

【 0 0 1 6 】

そこで、軽圧下方法において、凝固完了した鑄片短辺側を圧下することなく、総圧下量を増大させ且つ圧下による連続鑄造機への負荷を緩和することを目的として、幾つかの提案がなされている。

【 0 0 1 7 】

例えば、特許文献3には、バルジング開始時の鑄片の厚みの3%以上25%以下の範囲で鑄片を強制的にバルジングさせ、その後、鑄片厚み中心部固相率が0.2以上0.7以下の鑄片の位置を、総バルジング量の30%以上70%以下に相当する厚みだけ圧下する連続鑄造方法が提案されている。また、特許文献4には、鑄片を強制的に3～20mmの

10

20

30

40

50

範囲でバルジングさせ、その後、鋳片厚み中心部の固層率が $0.2 \sim 0.9$ の鋳片を、圧下速度と鋳造速度との積が $0.3 \sim 1.0 \text{ mm} \cdot \text{m} / \text{min}^2$ となる条件で、強制的にバルジングさせた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連続鋳造方法が提案されている。

【0018】

しかしながら、特許文献3では、急激にバルジングさせた場合やバルジング量が大きい場合には、バルジング歪によって鋳片に内部割れが発生する可能性があり、また、バルジング開始時期が早すぎる場合には、ブレークアウトが発生する可能性がある。また、バルジングさせた後の鋳片の形状によっては、鋳片厚み中心部に適正な圧下力が伝わらず、中心偏析が改善しない場合が発生するという問題もある。

10

【0019】

特許文献4では、鋳片に対して適切な圧下力が付与されるが、鋳片の初期凝固を制御しておらず、初期凝固が不均一な場合は、最終凝固部の凝固界面が平滑でなく、軽圧下の効果が十分に得られない場合が発生する。つまり、鋳片の凝固完了位置が鋳片幅方向で同一位置でないときには、特許文献4であっても軽圧下の効果は十分に得られない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0020】

【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

20

【特許文献3】特開2000-288705号公報

【特許文献4】特許第5522324号公報

【非特許文献】

【0021】

【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】

【0022】

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、鋳造開始時などに拘束性ブレークアウトが発生することなく、凝固初期の凝固シェルの不均一冷却による表面割れを抑制できると同時に、鋳片の厚み中心部に発生する中心偏析を効果的に抑制することのできる、鋼の連続鋳造方法を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0023】

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] 水冷式銅鋳型の内壁面の少なくともメニスカスを含む領域の鋳型銅板の内壁面に、鋳型銅板の熱伝導率に対する熱伝導率の差の比率が15%以上である金属が前記内壁面に設けられた凹溝の内部に充填されて形成された複数個の異熱伝導金属充填部を有し、且つ、前記異熱伝導金属充填部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の面積の総和の比である面積率が10%以上80%以下の範囲である連続鋳造用鋳型を用い、タンディッシュ内の溶鋼を前記鋳型内に注入して連続鋳造する鋼の連続鋳造方法であって、連続鋳造機に配置さ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て内部に未凝固層を有する矩形の鋳片の長辺面を、鋳型出口での鋳片厚み（鋳片長辺面間の厚み）に対して0mmを超え20mm以下の範囲の総バルジング量で拡大させ、その後、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、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、圧下速度と鋳造速度との積が $0.10 \sim 1.0 \text{ mm} \cdot \text{m} / \text{min}^2$ となる圧下力を鋳片長辺面に付与し、この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鋳片

40

50

長辺面を圧下することを特徴とする、鋼の連続鑄造方法。

〔 2 〕前記異熱伝導金属充填部は、前記鑄型銅板の内壁面の鑄型幅方向及び鑄造方向に周期的な熱抵抗分布と熱流束分布を形成することを特徴とする、〔 1 〕に記載の鋼の連続鑄造方法。

〔 3 〕前記複数個の異熱伝導金属充填部はそれぞれ独立していることを特徴とする、〔 1 〕または〔 2 〕に記載の鋼の連続鑄造方法。

〔 4 〕前記凹溝は、円形または擬似円形であることを特徴とする〔 1 〕から〔 3 〕の何れか 1 つに記載の鋼の連続鑄造方法

〔 5 〕前記異熱伝導金属充填部を形成する金属の線膨張係数は、鑄型銅板の線膨張係数に対する差の比率を 30 % 以下とする線膨張係数であることを特徴とする、〔 1 〕から〔 4 〕の何れか 1 つに記載の鋼の連続鑄造方法。

【発明の効果】

【 0 0 2 4 】

本発明によれば、複数個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、凝固シェルの相変態（例えば、 δ 鉄から γ 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。

【 0 0 2 5 】

また、凝固初期の熱流束の周期的な増減により、凝固シェル厚みは、鑄片の幅方向のみならず鑄造方向でも均一化され、これにより、中心偏析が形成される鑄片の最終凝固部における凝固シェルの凝固界面も平滑になる。最終凝固部の凝固界面が平滑になることで、最終凝固部に形成される偏析形成スポットが狭小化されるのみならず、軽圧下による圧力が鑄片幅方向で均等に付与され、鑄片の中心偏析が軽減される。

【 0 0 2 6 】

つまり、本発明を適用することで、凝固初期の凝固シェルの不均一冷却による表面割れを抑制できると同時に、鑄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、高品質の鑄片を安定して製造することが実現される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 7 】

【図 1】本実施形態に係る鋼の連続鑄造方法に用いられるスラブ連続鑄造機の一例の側面概略図である。

【図 2】スラブ連続鑄造機における鑄片支持ロールのロール開度のプロファイルの例を示す図である。

【図 3】スラブ連続鑄造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 4】図 3 に示す鑄型長辺銅板の X - X ' 断面図である。

【図 5】鑄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鑄型長辺銅板の三箇所の位置における熱抵抗を、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。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

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、本実施形態に係る鋼の連続鑄造方法に用いられるスラブ連続鑄造機の一例の側面概略図である。

【 0 0 2 9 】

図 1 に示すように、スラブ連続鑄造機 1 には、溶鋼 9 を注入して凝固させ、鑄片 10 の

10

20

30

40

50

長方形の外殻を形成するための銅製水冷式の鑄型 5 が設置され、この鑄型 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 9 を鑄型 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。タンディッシュ 2 の底部には、溶鋼 9 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。一方、鑄型 5 の下方には、サポートロール、ガイドロール及びピンチロールからなる複数対の鑄片支持ロール 6 が配置されている。鑄造方向に隣り合う鑄片支持ロール 6 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、二次冷却帯の各スプレーノズルから噴射される冷却水（以後、「二次冷却水」ともいう）によって鑄片 10 は引き抜かれながら冷却されるようになっている。また、鑄造方向最終の鑄片支持ロール 6 の下流側には、鑄造された鑄片 10 を搬送するための複数の搬送ロール 7 が設置されており、この搬送ロール 7 の上方には、鑄造される鑄片 10 から所定の長さの鑄片 10 a を切断するための鑄片切断機 8 が配置されている。

10

【0030】

鑄片 10 の凝固完了位置 13 の鑄造方向上流側には、鑄片 10 を挟んで対向する鑄片支持ロール間の間隔（以後、この間隔を「ロール開度」という）を鑄造方向下流側に向かって順次狭くなるように設定された、つまり圧下勾配（鑄造方向下流に向かって順次狭くなるように設定されたロール開度の状態）が設定された、複数対の鑄片支持ロール群から構成される軽圧下帯 14 が設置されている。ここでは、その全域または選択した一部の領域で、鑄片 10 に軽圧下を行うことが可能である。

20

【0031】

図 1 では、凝固完了位置 13 の鑄造方向上流側に軽圧下帯 14 が設置されているが、これは、鑄片厚み中心部の固相率が 0.9 となる部位の鑄片が軽圧下帯 14 の下端に位置し、鑄片厚み中心部の固相率が 0.9 を超えた鑄片は軽圧下帯 14 から直ちに遠ざかるようにするためである。このようにすることで、鑄片 10 の中心偏析が抑制され、且つ、剛性が高く、圧下抵抗の大きい鑄片厚み中心部の固相率が 0.9 を超えた部位に圧下力が付与されず、軽圧下帯 14 の圧下負荷が軽減される。

【0032】

但し、これは、鑄造速度が目標とする所定値となった定常鑄造域での理想的な状態を示すものであり、取鍋交換時や鑄造終了時の鑄造速度が目標とする値よりも遅い場合には、凝固完了位置 13 が鑄造方向上流側に移動し、軽圧下帯 14 の範囲内に入ることが起こり得る。本実施形態では、鑄片厚み中心部の固相率が少なくとも 0.2 から 0.9 までの鑄片が、軽圧下帯 14 の設置範囲内に入るようにすればよく、この条件を満足すれば、どのような形態であってもよい。

30

【0033】

軽圧下帯 14 は、複数対の鑄片支持ロール 6 が一体的に配置されるロールセグメントで形成されてもよく、また、それぞれの鑄片支持ロール 6 が油圧によってそれぞれ独立して移動する複数対の鑄片支持ロール 6 で形成されていてもよい。但し、いずれの場合も、定常鑄造域の鑄造速度のときには、鑄片厚み中心部の固相率が 0.2 から 0.9 までの鑄片が軽圧下帯 14 の範囲内に入るように、軽圧下帯 14 の鑄造方向長さを確保することが必要である。

40

【0034】

通常、軽圧下帯 14 における圧下勾配は、鑄造方向 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、したがって、軽圧下帯 14 における鑄片 10 の圧下速度（mm/min）は、この圧下勾配（mm/m）と鑄造速度（m/min）との積で求められる。尚、軽圧下帯 14 を構成する各鑄片支持ロール間にも鑄片 10 を冷却するためのスプレーノズルが配置されている。また、軽圧下帯 14 に配置される鑄片支持ロール 6 を圧下ロールともいう。

【0035】

また、図 1 において、鑄型 5 の下端から鑄片 10 の液相線クレータエンド位置との間に

50

配置される鋳片支持ロール 6 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た、内部に未凝固層 12 を有する鋳片 10 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 15 を構成している。強制バルジング帯 15 の下流側の鋳片支持ロール 6 は、ロール開度が一定値または鋳片 10 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 14 につながっている。

【 0 0 3 6 】

図 2 に、スラブ連続鋳造機における鋳片支持ロール 6 のロール開度のプロフィルの例を示す。図 2 に示すように、強制バルジング帯 15 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 15 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 10 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 14 で鋳片長辺面を圧下する（領域 d）というプロフィルにしている。図中の a 及び e は、ロール開度が鋳片 10 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。図中の a' は、鋳片 10 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鋳造方法（従来方法）におけるロール開度の例である。

10

【 0 0 3 7 】

強制バルジング帯 15 では、鋳片支持ロール 6 のロール開度を鋳造方向下流側に向かって順次広くすることにより、鋳片 10 の短辺近傍を除く長辺面は、未凝固層 12 による溶鋼静圧によって鋳片支持ロール 6 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 10 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鋳片支持ロール 6 に接触することになる。

20

【 0 0 3 8 】

図 3 は、スラブ連続鋳造機 1 に設置される鋳型 5 の一部を構成する鋳型長辺銅板の概略側面図である。尚、図 3 は、内壁面側に異熱伝導金属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である。図 4 は、図 3 に示す鋳型長辺銅板の X - X' 断面図である。

30

【 0 0 3 9 】

スラブ鋳片用の鋳型 5 は、一对の銅合金製の鋳型長辺銅板 5 a と一对の銅合金製の鋳型短辺銅板（図示せず）とを組み合わせ構成され、図 3 は、そのうちの鋳型長辺銅板 5 a を示している。鋳型短辺銅板も鋳型長辺銅板 5 a と同様に、その内壁面側に異熱伝導金属充填部 17 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、スラブ鋳片用の鋳型 5 の鋳型短辺銅板には、異熱伝導金属充填部 17 を設置しなくてもよい。

【 0 0 4 0 】

図 3 に示すように、鋳型長辺銅板 5 a 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 5 a の内壁面の範囲には、直径を d とする鋳型長辺銅板 5 a の熱伝導率とは異なる熱伝導率の金属が充填された、複数個の異熱伝導金属充填部 17 が、異熱伝導金属充填部同士の間隔を P として、鋳型幅方向長さ W の範囲に設置されている。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 50 mm ないし 200 mm 程度下方の位置としている。したがって、メニスカス位置が鋳型長辺銅板 5 a 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熱伝導金属充填部 17 を配置すればよい。

40

50

【 0 0 4 1 】

即ち、凝固シェルの初期凝固への影響を勘案すれば、異熱伝導金属充填部 17 の設置位置は、定常鑄造時の鑄造速度 V_c に応じて、下記の (1) 式で算出される長さ 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 3 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。

【 0 0 4 2 】

$$L_0 = 2 \times V_c \times 1000 / 60 \cdots (1)$$

但し、(1) 式において、 L_0 は長さ (mm)、 V_c は定常鑄造時の鑄造速度 (m/min) である。

【 0 0 4 3 】

長さ L_0 は、凝固開始した後の鑄片が異熱伝導金属充填部 17 の設置された範囲を通過する時間に関係しており、鑄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、鑄片の凝固シェルが異熱伝導金属充填部 17 の設置された範囲内に滞在することが好ましいことを、本発明者らは確認している。鑄片が凝固開始後から少なくとも 2 秒間は異熱伝導金属充填部 17 の設置された範囲に存在するためには、長さ L_0 は (1) 式を満たすことが必要となる。

【 0 0 4 4 】

凝固開始した後の鑄片が異熱伝導金属充填部 17 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、異熱伝導金属充填部 17 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鑄造時や中炭素鋼の鑄造時でも、鑄片表面割れの防止効果が得られる。異熱伝導金属充填部 17 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、鑄片が異熱伝導金属充填部 17 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好ましい。

【 0 0 4 5 】

長さ L_2 の具体的な長さは、厚みが 200 mm 以上のスラブ連続鑄造機における鑄造速度 V_c は、3.0 m/min 程度が上限であるので、長さ L_2 は、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熱伝導金属充填部 17 を設置すればよい。但し、鑄造速度の上限が 2.0 m/min 程度の場合には、長さ L_2 は 67 mm であればよい。長さ L_2 の上限は定めなくてよく、鑄型下端まで異熱伝導金属充填部 17 を設置してもよい。

【 0 0 4 6 】

一方、異熱伝導金属充填部 17 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、どこの位置であってもよく、したがって、図 3 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、鑄造中に異熱伝導金属充填部 17 の設置領域に存在する必要がある、しかも、メニスカスは鑄造中に上下方向に変動するので、異熱伝導金属充填部 17 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、異熱伝導金属充填部 17 の上端部を想定されるメニスカス位置よりも 10 mm 程度上方位置にすることが好ましく、異熱伝導金属充填部 17 の上端部を想定されるメニスカス位置よりも 20 mm ~ 50 mm 程度上方位置にすることがより好ましい。

【 0 0 4 7 】

この異熱伝導金属充填部 17 は、図 4 に示すように、鑄型長辺銅板 5 a の内壁面側にそれぞれ独立して加工された円形凹溝 16 の内部に、鑄型長辺銅板 5 a 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が充填されて形成されたものである。

【 0 0 4 8 】

円形凹溝 16 の内部に充填される金属の熱伝導率は、一般的には、鑄型長辺銅板 5 a を構成する銅合金の熱伝導率よりも低い、例えば、鑄型長辺銅板 5 a 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、充填される金属の熱伝導率の方が高くなることもある。

【 0 0 4 9 】

円形凹溝 16 の内部に、鑄型長辺銅板 5 a を構成する銅合金の熱伝導率とは異なる熱伝

10

20

30

40

50

導率の金属（以後、「充填金属」ともいう）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 16 の形状に合わせて加工した金属を円形凹溝 16 に嵌め込むなどして充填することも可能であるが、その場合には、充填金属と鋳型銅板との間に隙間や割れが生じることがある。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、更には拘束性ブレイクアウトの原因となり、好ましくない。充填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することができる。ここで、図 4 における符号 18 は、鋳型冷却水の流路を構成する、鋳型長辺銅板 5a の背面側に設置されたスリット、符号 19 は、鋳型長辺銅板 5a の背面と密着するバックプレートであり、スリット 18 を通る鋳型冷却水によって、鋳型長辺銅板 5a は冷却される。

10

【0050】

本実施形態において、鋳型銅板として使用する銅合金としては、一般的に連続鋳造用鋳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、鋳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鋳型銅板も使用されることがある。尚、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。

20

【0051】

図 5 に、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 17 を有する鋳型長辺銅板 5a の三箇所における熱抵抗を、異熱伝導金属充填部 17 の位置に対応して概念的に示す。この場合、異熱伝導金属充填部 17 の設置位置では熱抵抗が相対的に高くなる。

【0052】

複数の異熱伝導金属充填部 17 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ことにより、図 5 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。

30

【0053】

尚、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 17 を形成した場合には、図 5 とは異なり、異熱伝導金属充填部 17 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。

【0054】

上述のように連続鋳造用鋳型に熱抵抗の周期的な分布を形成するには、異熱伝導金属充填部 17 同士がそれぞれ独立していることが好ましい。

【0055】

この熱流束の周期的な増減により、凝固シェルの相変態（例えば、 δ 鉄から γ 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、凝固シェル表面における表面割れの発生が抑制される。

【0056】

また、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 10 の凝固シェルの凝固界面は、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。

40

50

【0057】

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17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17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。

【0058】

異熱伝導金属充填部17を設置したことによる熱流束の増減の差は、充填金属の熱伝導率、及び、異熱伝導金属充填部17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17の面積の総和の比である面積率に依存する。

10

【0059】

そこで、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16に充填する金属として、円形凹溝16に充填する金属の熱伝導率を λ_m としたとき、鋳型銅板の熱伝導率(λ_c)に対する充填金属の熱伝導率(λ_m)の差の比率($(|\lambda_c - \lambda_m| / \lambda_c) \times 100$)が15%以上である金属を使用する。鋳型銅板を構成する銅合金の熱伝導率(λ_c)に対する差の比率が15%以上である金属を使用することで、異熱伝導金属充填部17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。

【0060】

20

また、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、異熱伝導金属充填部17が形成された範囲内の鋳型銅板内壁面の面積 A ($A = (L_1 + L_2) \times W$ 、単位; mm^2)に対する、全ての異熱伝導金属充填部17の面積の総和 B (mm^2)の比である面積率 ε ($\varepsilon = (B / A) \times 100$)が10%以上80%以下になるように、異熱伝導金属充填部17を設置する必要がある。面積率 ε 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17の占める面積が確保され、異熱伝導金属充填部17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得ることができる。一方、面積率 ε が80%を超えると、異熱伝導金属充填部17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、鋳片の表面割れ抑制効果が得られにくくなる。

【0061】

30

以上説明したように、本発明で使用する鋳型5においては、充填金属として、鋳型銅板の熱伝導率(λ_c)に対する充填金属の熱伝導率(λ_m)の差の比率が15%以上である金属を使用し、且つ、面積率 ε が10%以上80%以下になるように、異熱伝導金属充填部17を設置する。

【0062】

充填金属は、鋳型銅板の熱伝導率(λ_c)に対する充填金属の熱伝導率(λ_m)の差の比率が15%以上であれば、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を挙げれば、純ニッケル(Ni、熱伝導率; $90W/(m \times K)$)、純クロム(Cr、熱伝導率; $67W/(m \times K)$)、純コバルト(Co、熱伝導率; $70W/(m \times K)$)、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、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。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17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。

40

【0063】

また、充填金属としては、鋳型銅板の線膨張係数(τ_c)に対する充填金属の線膨張係数(τ_m)の差の比率($(|\tau_c - \tau_m| / \tau_c) \times 100$)が30%以下である金属を使用することが好ましい。鋳型銅板の線膨張係数(τ_c)と類似した線膨張係数(τ_m)の金属を充填金属として使用することで、充填金属と鋳型銅板との間に隙間や割れが発生

50

することを抑制できる。

【0064】

尚、図3及び図4では、異熱伝導金属充填部17の鑄型長辺銅板5aの内壁面における凹溝の形状が円形である例を示したが、凹溝は円形でなくてもよい。凹溝は、例えば楕円形のような、いわゆる「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。本実施形態においては、円形に近いものを「擬似円形」という。異熱伝導金属充填部17の形状が擬似円形の場合には、異熱伝導金属充填部17を形成するために鑄型長辺銅板5aの内壁面に加工される凹溝を、「擬似円形凹溝」という。

【0065】

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、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(2)式で算出される。

【0066】

$$\text{円相当径 } d = (4 \times S_{m a} / \pi)^{1/2} \cdots (2)$$

但し、(2)式において、 $S_{m a}$ は異熱伝導金属充填部17の面積(mm^2)である。

【0067】

異熱伝導金属充填部17の形状を円形または擬似円形とすることで、充填金属と銅との境界面は曲面状となることから、境界面で応力が集中しにくく、鑄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。

【0068】

異熱伝導金属充填部17の直径d及び円相当径dは、2~20mmであることが好ましい。2mm以上とすることで、異熱伝導金属充填部17における熱流束の低下が十分となり、鑄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16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、異熱伝導金属充填部17の直径及び円相当径を20mm以下とすることで、異熱伝導金属充填部17における熱流束の低下が抑制され、つまり、異熱伝導金属充填部17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防止することができる。つまり、直径及び円相当径が20mmを超えると表面割れが発生する可能性があることから、異熱伝導金属充填部17の直径及び円相当径は20mm以下にすることが好ましい。

【0069】

異熱伝導金属充填部17の充填厚みHは0.5mm以上とすることが好ましい。充填厚みHを0.5mm以上とすることで、異熱伝導金属充填部17における熱流束の低下が十分となり、鑄片の表面割れ抑制効果を得ることができる。

【0070】

また、異熱伝導金属充填部17の充填厚みHは、異熱伝導金属充填部17の直径d及び円相当径d以下にすることが好ましい。充填厚みHを異熱伝導金属充填部17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、充填金属と鑄型銅板との間に隙間や割れが生じることがない。

【0071】

異熱伝導金属充填部同士の間隔Pは、異熱伝導金属充填部17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、異熱伝導金属充填部同士の間隔Pとは、図1に示すように、隣り合う異熱伝導金属充填部17の端部間の最短距離である。異熱伝導金属充填部同士の間隔Pを「 $0.25 \times d$ 」以上とすることで、間隔が十分に大きく、異熱伝導金属充填部17における熱流束と銅合金部(異熱伝導金属充填部17が形成されていない部位)の熱流束との差が大きくなり、鑄片の表面割れ抑制効果を得ることができる。異熱伝導金属充填部同士の間隔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、異熱伝導金属充填部17の面積率εが低下するので「 $2.0 \times d$ 」以下にする

ことが好ましい。

【0072】

異熱伝導金属充填部 17 の配列は、図 3 に示すような千鳥配列が好ましいが、千鳥配列に限らず、異熱伝導金属充填部 17 が上記の面積率 ε を満たす配列であれば、どのような配列でもよい。

【0073】

本実施形態において、異熱伝導金属充填部 17 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防止することを目的として、鍍金層（図示せず）を設けてもよい。鍍金層は、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（Ni - Co 合金）やニッケル - クロム合金（Ni - Cr 合金）などを鍍金処理することで得られる。

【0074】

このように構成されるスラブ連続鋳造機 1 において、タンディッシュ 2 から浸漬ノズル 4 を介して鋳型 5 に注入された溶鋼 9 は、鋳型 5 で冷却されて凝固シェル 11 を形成する。この凝固シェル 11 を外殻とし、内部に未凝固層 12 を有する、横断面が長方形の鋳片 10 は、鋳型 5 の下方に設けられた鋳片支持ロール 6 に支持されつつ、鋳型 5 の下方に連続的に引き抜かれる。鋳片 10 は、鋳片支持ロール 6 を通過する間、二次冷却帯の二次冷却水で冷却され、凝固シェル 11 の厚みを増大し、且つ、強制バルジング帯 15 では鋳片長辺面の短辺側端部を除いた部分の厚みを増大させ、更に、軽圧下帯 14 では鋳片長辺面が圧下されながら引き抜かれ、凝固完了位置 13 で内部までの凝固を完了する。凝固完了後の鋳片 10 は、鋳片切断機 8 によって切断されて鋳片 10a となる。

【0075】

本実施形態において、強制バルジング帯 15 を鋳型 5 の下端から鋳片 10 の液相線クレータエンド位置との間に配置する理由は、以下のとおりである。即ち、鋳片 10 の液相線クレータエンド位置よりも鋳造方向上流側は、鋳片厚み中心部は全て未凝固層 12（液相）であり、且つ、鋳片 10 の凝固シェル 11 は温度が高くて変形抵抗が小さいからである。鋳片 10 を強制的にバルジングさせる場合、鋳片 10 の内部に存在する未凝固層 12 が少ない時点でバルジングさせると、濃化溶鋼が流動して中心偏析は却って悪化する。しかし、鋳片 10 の液相線クレータエンド位置よりも鋳造方向上流側でバルジングさせた場合には、この時点では、溶質元素が濃化されていない初期濃度の溶鋼が鋳片内部に潤沢に存在し、且つ、この溶鋼が容易に流動する。この溶鋼が流動しても偏析は起こらず、したがって、この時点におけるバルジングは中心偏析の原因とはならない。また、凝固シェル 11 の変形抵抗が小さいことから、容易にバルジングさせることができる。

【0076】

尚、鋳片 10 の液相線とは、鋳片 10 の化学成分によって決まる凝固開始温度であり、例えば、下記の（3）式から求めることができる。

【0077】

$$TL = 1536 - (78 \times [\%C] + 7.6 \times [\%Si] + 4.9 \times [\%Mn] + 34.4 \times [\%P] + 38 \times [\%S] + 4.7 \times [\%Cu] + 3.1 \times [\%Ni] + 1.3 \times [\%Cr] + 3.6 \times [\%Al]) \cdots (3)$$

但し、（3）式において、TL は液相線温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）、 $[\%C]$ は溶鋼の炭素濃度（質量％）、 $[\%Si]$ は溶鋼の珪素濃度（質量％）、 $[\%Mn]$ は溶鋼のマンガン濃度（質量％）、 $[\%P]$ は溶鋼のリン濃度（質量％）、 $[\%S]$ は溶鋼の硫黄濃度（質量％）、 $[\%Cu]$ は溶鋼の銅濃度（質量％）、 $[\%Ni]$ は溶鋼のニッケル濃度（質量％）、 $[\%Cr]$ は溶鋼のクロム濃度（質量％）、 $[\%Al]$ は溶鋼のアルミニウム濃度（質量％）である。

【0078】

鋳片 10 の液相線クレータエンド位置は、二次元伝熱凝固計算により求められる鋳片内部の温度勾配と、（3）式で定まる液相線温度とを照らし合わせることで求めることができる。強制バルジング帯 15 は、特別な機構は不要であり、ロール開度を調整するだけで

形成されるので、鋳型 5 の下端から鋳片 10 の液相線クレータエンド位置との範囲であれば、任意の位置に設置してよい。

【0079】

本実施形態においては、強制バルジング帯 15 では、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するので、鋳片 10 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なり、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、中心偏析が軽減される。尚、強制バルジング帯 15 において、1 ロールあたりのロール開度の拡大量は、鋳片長辺面のバルジングする部位とバルジングしない部位との境界位置での亀裂発生を防止するために、1.5 mm 以下とすることが好ましい。

10

【0080】

また、本実施形態では、軽圧下帯 14 において、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、鋳片 10 を圧下している。鋳片厚み中心部の固相率が 0.9 を超える範囲では濃化溶鋼の流動は起こらず、圧下しなくても中心偏析は悪化しない。一方、軽圧下帯 14 において鋳片厚み中心部の固相率が 0.2 を超えてから圧下を開始しても、それ以前に濃化溶鋼の流動が発生する可能性があり、これにより中心偏析が発生するので、中心偏析軽減効果を十分に得ることができない。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 14 で鋳片 10 を圧下してもよい。

20

【0081】

鋳片厚み中心部の固相率は、液相線クレータエンド位置を求める場合と同様に、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、凝固開始前を固相率 = 0、凝固完了時を固相率 = 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 13（固相線クレータエンド位置）であり、液相線クレータエンド位置は、鋳片厚み中心部の固相率がゼロとなる最も下流側の位置に該当する。

【0082】

軽圧下帯 14 における鋳片 10 の圧下量の総量（以後、「総圧下量」という）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する。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 10 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 14 を構成する鋳片支持ロール 6（圧下ロール）の負荷荷重が軽減され、圧下ロール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。

30

【0083】

また、本実施形態では、軽圧下帯 14 における鋳片の圧下速度（mm/min）と鋳造速度（m/min）との積が 0.10 ~ 1.0 mm・m/min² となる範囲に設定している。

【0084】

前述したように、本実施形態では、鋳型銅板の内壁面に異熱伝導金属充填部 17 を形成させた鋳型 5 を使用しており、この鋳型 5 を使用することで、凝固シェル 11 の厚みが鋳片幅方向及び鋳造方向で均一化され、これにより、中心偏析が形成される最終凝固部での鋳片上面側凝固シェルと鋳片下面側凝固シェルとの凝固界面の凹凸が平滑化される。上下の凝固シェルの凝固界面が平滑化されることで、凝固末期、上下凝固シェルの凝固界面が衝突して形成される偏析スポットの体積が縮小し、中心偏析自体が軽減される。また、上下凝固シェルの凝固界面が平滑化されることで、鋳片幅方向における凝固完了位置 13 がほぼ同じ位置になり、軽圧下による圧下力が鋳片幅方向で均等に作用する。

40

【0085】

一般的に、軽圧下帯 14 における鋳片の圧下速度と鋳造速度との積が 0.3 よりも小さい場合は、軽圧下後の圧下位置における鋳片 10 の未凝固部の厚みが厚く、また、偏析成

50

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が、本実施形態では、内壁面に異熱伝導金属充填部 17 を形成させた鋳型 5 を使用しているので、圧下速度と鋳造速度との積として、最低限の凝固収縮に相当する 0.10 を確保することで、中心偏析の改善が可能になる。

【0086】

一方、圧下速度と鋳造速度との積が 1.0 よりも大きい場合には、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て、圧下位置よりも鋳造方向にやや上流側の鋳片の厚み方向の両側の凝固シェル 11 に捕捉される。つまり、排出された濃化溶鋼によって鋳片厚み中心部近傍に正偏析が発生する。

10

【0087】

このように、本実施形態では、鋳型銅板の内壁面に異熱伝導金属充填部 17 を形成させた鋳型 5 を使用することにより、軽圧下の実施条件を従来と比較して軽減することが可能となる。つまり、強制的な総バルジング量は 0 mm 超え 20 mm 以下で十分であり、また、圧下速度と鋳造速度の積が 0.10 ~ 1.0 mm・m/min² の小さい条件で、総バルジング量と同等またはそれ以下の総圧下量を付与することで、鋳片 10 の中心偏析を軽減することが実現される。

【0088】

鋳片 10 の厚み中心部の中心偏析及び厚み中心部近傍の正偏析の発生防止に対する軽圧下の効果は、鋳片 10 の凝固組織にも影響される。つまり、鋳片厚み中心部の凝固組織が等軸晶の場合には、等軸晶間にセマクロ偏析の原因となる濃化溶鋼が存在し、且つ、圧下量が分散されて軽圧下による抑制効果が少なくなる。したがって、鋳片厚み中心部の凝固組織を柱状晶とすることが望ましい。

20

【0089】

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 11 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。

30

【0090】

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、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、高品質の鋳片を安定して製造することが実現される。

【0091】

尚、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。

40

【実施例 1】

【0092】

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熱伝導金属充填部を設置した水冷式銅鋳型を用い、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鋳造速度との積を種々変更して鋳造し、鋳造後の鋳片の表面割れ及び内部品質（中心偏析）を調査する試験を行った。全ての試験で、鋳片サイズは、厚みが 250 mm、幅が 2100 mm である。

【0093】

50

軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積は $0.01 \sim 0.92 \text{ mm} \cdot \text{m} / \text{min}^2$ とし、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。尚、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。また、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。使用した水冷銅鑄型の上端から下端までの長さ (= 鑄型長さ) は 950 mm であり、定常鑄造時のメニスカス (鑄型内溶鋼湯面) の位置を、鑄型上端から 100 mm 下方位置に設定した。

【0094】

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、以下に示す条件で鑄型を作成し、比較試験した。いずれの鑄型も充填金属として、鑄型銅板の熱伝導率よりも熱伝導率の低い金属を使用した。

10

【0095】

鑄型 A ; 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 15% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 50% とした。

【0096】

鑄型 B ; 鑄型上端より 80 mm 下方の位置から鑄型上端より 190 mm 下方の位置までの範囲 (範囲長さ = 110 mm) に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 15% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 50% とした。

20

【0097】

鑄型 C ; 鑄型上端より 190 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 = 110 mm) に、つまり、メニスカス位置よりも下方に、銅の熱伝導率に対してその熱伝導率差の比率を 15% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 50% とした。

【0098】

鑄型 D ; 鑄型上端より 80 mm 下方の位置から鑄型上端より 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 15% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 50% とした。

30

【0099】

鑄型 E ; 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 10% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 50% とした。

【0100】

鑄型 F ; 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 15% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 5% とした。

40

【0101】

鑄型 G ; 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 15% とする金属を充填金属とし、異熱伝導金属充填部を設置した。異熱伝導金属充填部の面積率 ε は 85% とした。

【0102】

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 ($(\text{質量}\% \text{CaO}) / (\text{質量}\% \text{SiO}_2)$) が 1.1 、凝固温度が 1090 、 1300 における粘性率が 0.1

50

5 Pa・s のモールドパウダーを使用した。凝固温度とは、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 下方位置とし、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。また、定常鑄造時の鑄造速度は 1.7 ~ 2.2 m/min とし、鑄片の表面割れ及び内質を調査する鑄片は、全ての試験で、定常鑄造時の鑄造速度が 2.0 m/min の鑄片を対象とした。タンディッシュ内の溶鋼過熱度は 25 ~ 35 とした。また、鑄型の温度管理として、熱電対を鑄型のメニスカス下 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鑄型の表面温度を推定した。

【0103】

10

連続鑄造が終了した後、鑄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。鑄片表面割れの発生状況は、検査対象の鑄片の鑄造方向長さを分母とし、表面割れが発生した部位の鑄片の鑄造方向長さを分子として算出した値を用いて評価した。また、鑄片内質（中心偏析）の評価については、鑄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鑄片中心部分 ± 10 mm の範囲で、EPMA により Mn 濃度を 197 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部位の 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。

【0104】

表 1 に、試験水準 1 ~ 13 の各試験の作業条件及び鑄片の表面、内質の調査結果を示す。尚、表 1 の備考欄には、本発明の条件を満足する試験を「本発明例」、それ以外の試験を「比較例」と表示している。

20

【0105】

【表 1】

試験水準	鑄型タイプ	鑄片サイズ(mm)	鑄造速度(m/min)	鑄型上端からの距離(mm)			異熱伝導金属充填部の面積率ε(%)	鑄型銅板と充填金属との熱伝導率の比率(%)	鑄型銅板と充填金属との線膨張係数差(%)	軽圧下条件		鑄片品質評価		鑄型銅板	備考
				メス加工位置	異熱伝導金属充填部の上端位置	異熱伝導金属充填部の下端位置				総ハルジング量(mm)	圧下速度×鑄造速度(mm・m/min ²)	表面割れ比率(%)	中心偏析(C/C ₀)		
1	A	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	50	15	30	0	0.10	0.0	軽微 1.09	-	比較例
2	B	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	190	50	15	32	0	0.10	0.0	軽微 1.09	表面にクラック発生	比較例
3	C	厚:250 幅:2100	2.0	100	190	300	50	15	30	0	0.01	25.0	不適 1.15	-	比較例
4	D	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	750	50	15	30	0	0.08	0.0	軽微 1.10	-	比較例
5	E	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	50	10	30	0	0.08	16.0	軽微 1.10	-	比較例
6	F	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	5	15	40	0	0.05	13.0	不適 1.15	表面にクラック発生	比較例
7	G	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	85	15	20	0	0.05	18.0	不適 1.15	-	比較例
8	A	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	50	15	30	3	0.90	0.0	良好 1.06	-	本発明例
9	A	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	50	15	30	2	0.92	0.0	良好 1.07	-	本発明例
10	A	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	50	15	10	1	0.10	0.0	良好 1.07	-	本発明例
11	A	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	300	50	15	30	20	0.30	0.0	良好 1.06	-	本発明例
12	B	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	190	50	15	32	5	0.50	0.0	良好 1.06	表面にクラック発生	本発明例
13	D	厚:250 幅:2100	2.0	100	80	750	50	15	30	5	0.60	0.0	良好 1.06	-	本発明例

【0106】

試験水準 1、2、4 は、鑄型内壁面の異熱伝導金属充填部の設置条件を満足するが、鑄片を強制バルジング帯でバルジングさせていない。また、試験水準 1、2 は、軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積の条件を満足するが、試験水準 4 は、軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積の条件を満足しない。したがって、いずれも、鑄片の表面割れ比率は大幅に改善されたが、鑄片の中心偏析の改善程度は少なく、中心偏析については最適とはいえない結果であった。また、試験水準 2 は、鑄型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率が 32% であり、本発明の好ましい範囲を外れたために、鑄型表面の異熱伝導金属充填部との境界にクラック（亀裂）の発生が確認された。

【0107】

試験水準 3 は、鑄型内壁面の異熱伝導金属充填部の設置条件を満足しておらず、また、鑄片を強制バルジング帯でバルジングさせておらず、且つ、軽圧下帯における圧下速度と

10

20

30

40

50

鑄造速度との積の条件を満足しておらず、鑄片に表面割れが発生し、表面割れの低減効果は確認することができなかった。また、鑄片の中心偏析についても改善効果を確認できなかった。

【0108】

試験水準5は、鑄型銅板と充填金属との熱伝導率差の比率の条件を満足しておらず、また、鑄片を強制バルジング帯でバルジングさせておらず、且つ、軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積の条件を満足しておらず、鑄片に表面割れが発生し、表面割れの低減効果は確認することができなかった。また、鑄片の中心偏析についても改善効果を確認できなかった。

【0109】

試験水準6及び試験水準7は、異熱伝導金属充填部の面積率 ε の条件を満足しておらず、また、鑄片を強制バルジング帯でバルジングさせておらず、且つ、軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積の条件を満足しておらず、鑄片に表面割れが発生し、表面割れの低減効果は確認することができなかった。また、鑄片の中心偏析についても改善効果を確認できなかった。また、試験水準6は、鑄型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率が40%であり、鑄型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率の好ましい範囲を外れたために、鑄型表面の異熱伝導金属充填部との境界にクラックの発生が確認された。

【0110】

試験水準8～13は、鑄型内壁面の異熱伝導金属充填部の設置条件、強制バルジング帯での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の全ての条件を満足しており、鑄片の表面割れ比率が大幅に改善されると同時に、鑄片の中心偏析も良好な結果が得られた。但し、試験水準12は、鑄型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率が32%であり、鑄型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率の好ましい範囲を外れたために、鑄型表面の異熱伝導金属充填部との境界にクラックの発生が確認された。

【0111】

このように、本実施形態に係る鋼の連続鑄造方法を実施することで、鑄片の表面品質と中心偏析とが同時に改善されることが確認できた。

【実施例2】

【0112】

低炭素鋼（化学成分、C：0.03～0.07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%）の耐HIC鋼を、内壁面に種々の条件で異熱伝導金属充填部を設置した水冷式銅鑄型を用い、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、内部品質（中心偏析）及びHIC発生状況を調査する試験を行った。全ての試験で、鑄片サイズは、厚みが250mm、幅が2100mmである。用いた鑄型は、実施例1の鑄型A～Gと同一である。

【0113】

軽圧下帯における圧下速度と鑄造速度との積は $0.01 \sim 0.92 \text{ mm} \cdot \text{m} / \text{min}^2$ とし、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。尚、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。また、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。

【0114】

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%CaO）/（質量%SiO₂））が1.0、凝固温度が1090、1300における粘性率が0.30Pa・sのモールドパウダーを使用した。凝固温度とは、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100mm下方位置とし、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。ま

10

20

30

40

50

た、定常鑄造時の鑄造速度は $1.0 \sim 1.6 \text{ m/min}$ とし、鑄片の表面割れ及び内質を調査する鑄片は、全ての試験で、定常鑄造時の鑄造速度が 1.1 m/min の鑄片を対象とした。タンディッシュ内の溶鋼過熱度は $25 \sim 35$ とした。

【0115】

連続鑄造が終了した後、鑄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。鑄片表面割れの発生状況は、検査対象の鑄片の鑄造方向長さを分母とし、表面割れが発生した部位の鑄片の鑄造方向長さを分子として算出した値を用いて評価した。また、鑄片内質（中心偏析）の評価については、鑄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鑄片中心部分 $\pm 10 \text{ mm}$ の範囲で、EPMAによりMn濃度を $10 \mu\text{m}$ 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部位のMn濃度（ C_0 ）と中心部分 $\pm 10 \text{ mm}$ 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。

10

【0116】

更に、耐HIC性能を確認するために、 0.5 質量% CH_3COOH を添加した 5 質量% NaCl 水溶液に H_2S を飽和させた、 $\text{pH} = 2.7 \sim 4.0$ の溶液中に試験片を 72 時間浸漬したのち、試験片の板厚方向に超音波探傷して水素誘起割れ（HIC）の有無を調査し、全試験片数に占めるHIC発生試験片数の百分率をHIC発生指数として評価した。

【0117】

表2に、試験水準 $21 \sim 33$ の各試験の作業条件及び鑄片の表面、内質、HIC発生指数の調査結果を示す。尚、表2の備考欄には、本発明の条件を満足する試験を「本発明例」、それ以外の試験を「比較例」と表示している。

20

【0118】

【表 2】

試験水準	鋳型タイプ	鋳造速度 (m/min)	鋳型上端からの距離(mm)			異熱伝導金属充填部の面積率ε(%)	鋳型銅板と充填金属との熱伝導率の比率(%)	鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差(%)	軽圧下条件		鋳片品質評価			鋳型銅板	備考
			メニスカス位置	異熱伝導金属充填部の上端位置	異熱伝導金属充填部の下端位置				総バールジ量(mm)	圧下速度×鋳造速度 (mm・m/min ²)	表面割れ比率(%)	中心偏析(C/CO)	HIC発生指数(%)		
21	A	1.1	100	80	300	50	15	30	0	0.10	0.0	軽微 1.04	3.8	-	比較例
22	B	1.1	100	80	190	50	15	32	0	0.10	0.0	軽微 1.04	3.8	表面にクラック発生	比較例
23	C	1.1	100	190	300	50	15	30	0	0.01	1.2	不適 1.08	25.0	-	比較例
24	D	1.1	100	80	750	50	15	30	0	0.08	0.0	軽微 1.04	3.5	-	比較例
25	E	1.1	100	80	300	50	10	30	0	0.08	1.3	不適 1.08	30.0	-	比較例
26	F	1.1	100	80	300	5	15	40	0	0.05	1.6	不適 1.08	31.8	表面にクラック発生	比較例
27	G	1.1	100	80	300	85	15	20	0	0.05	1.2	不適 1.08	29.4	-	比較例
28	A	1.1	100	80	300	50	15	30	3	0.90	0.0	良好 1.02	0.0	-	本発明例
29	A	1.1	100	80	300	50	15	30	2	0.92	0.0	良好 1.03	0.0	-	本発明例
30	A	1.1	100	80	300	50	15	10	1	0.10	0.0	良好 1.03	0.0	-	本発明例
31	A	1.1	100	80	300	50	15	30	20	0.30	0.0	良好 1.02	0.0	-	本発明例
32	B	1.1	100	80	190	50	15	32	5	0.50	0.0	良好 1.02	0.0	表面にクラック発生	本発明例
33	D	1.1	100	80	750	50	15	30	5	0.60	0.0	良好 1.02	0.0	-	本発明例

10

20

30

【0119】

実施例 2 では、低炭素鋼を対象としており、実施例 1 の中炭素鋼に比較して鋳片の表面割れ発生程度は軽微であったが、使用した鋳型に応じて、鋳片の表面割れの発生状況に差が認められた。

40

【0120】

試験水準 21、22、24 は、鋳型内壁面の異熱伝導金属充填部の設置条件を満足するが、鋳片を強制バールジング帯でバールジングさせていない。また、試験水準 21、22 は、軽圧下帯における圧下速度と鋳造速度との積の条件を満足するが、試験水準 24 は満足していない。したがって、いずれも、鋳片の表面割れ比率は大幅に改善されたが、鋳片の中心偏析及び HIC 発生指数の改善程度は少なく、中心偏析及び HIC 発生指数については最適とはいえない結果であった。また、試験水準 22 は、鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率が 32% であり、鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率の好ましい範

50

囲を外れたために、鋳型表面の異熱伝導金属充填部との境界にクラック（亀裂）の発生が確認された。

【 0 1 2 1 】

試験水準 2 3 は、鋳型内壁面の異熱伝導金属充填部の設置条件を満足しておらず、また、鋳片を強制バルジング帯でバルジングさせておらず、且つ、軽圧下帯における圧下速度と鋳造速度との積の条件を満足しておらず、鋳片に表面割れが発生し、表面割れの低減効果は確認することができなかった。また、鋳片の中心偏析及び H I C 発生指数についても改善効果を確認できなかった。

【 0 1 2 2 】

試験水準 2 5 は、鋳型銅板と充填金属との熱伝導率差の比率の条件を満足しておらず、また、鋳片を強制バルジング帯でバルジングさせておらず、且つ、軽圧下帯における圧下速度と鋳造速度との積の条件を満足しておらず、鋳片に表面割れが発生し、表面割れの低減効果は確認することができなかった。また、鋳片の中心偏析及び H I C 発生指数についても改善効果を確認できなかった。

【 0 1 2 3 】

試験水準 2 6 及び試験水準 2 7 は、異熱伝導金属充填部の面積率 ε の条件を満足しておらず、また、鋳片を強制バルジング帯でバルジングさせておらず、且つ、軽圧下帯における圧下速度と鋳造速度との積の条件を満足しておらず、鋳片に表面割れが発生し、表面割れの低減効果は確認することができなかった。また、鋳片の中心偏析及び H I C 発生指数についても改善効果を確認できなかった。また、試験水準 2 6 は、鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率が 4 0 % であり、鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率の好ましい範囲を外れたために、鋳型表面の異熱伝導金属充填部との境界にクラックの発生が確認された。

【 0 1 2 4 】

試験水準 2 8 ~ 3 3 は、鋳型内壁面の異熱伝導金属充填部の設置条件、強制バルジング帯での総バルジング量及び軽圧下帯における圧下速度と鋳造速度との積の全ての条件を満足しており、鋳片の表面割れ比率が大幅に改善されると同時に、鋳片の中心偏析及び H I C 発生指数も良好な結果が得られた。但し、試験水準 3 2 は、鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率が 3 2 % であり、鋳型銅板と充填金属との線膨張係数差の比率の好ましい範囲を外れたために、鋳型表面の異熱伝導金属充填部との境界にクラックの発生が確認された。

【 0 1 2 5 】

このように、本実施形態に係る鋼の連続鋳造方法を実施することで、鋳片の表面品質、中心偏析及び H I C 発生指数が同時に改善されることが確認できた。

【 符号の説明 】

【 0 1 2 6 】

- 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 鋳型
- 5 a 鋳型長辺銅板
- 6 鋳片支持ロール
- 7 搬送ロール
- 8 鋳片切断機
- 9 溶鋼
- 1 0 鋳片
- 1 1 凝固シェル
- 1 2 未凝固層
- 1 3 凝固完了位置

10

20

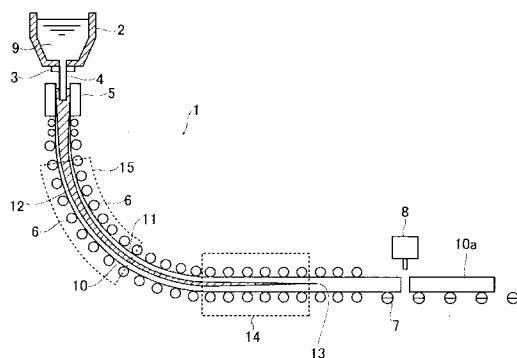
30

40

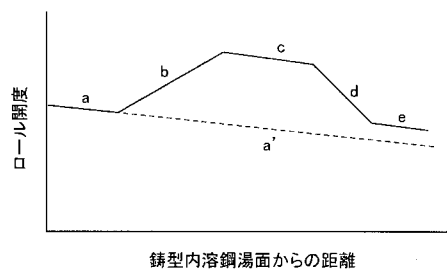
50

- 1 4 軽圧下帯
- 1 5 強制バルジング帯
- 1 6 円形凹溝
- 1 7 異熱伝導金属充填部
- 1 8 スリット
- 1 9 バックプレート

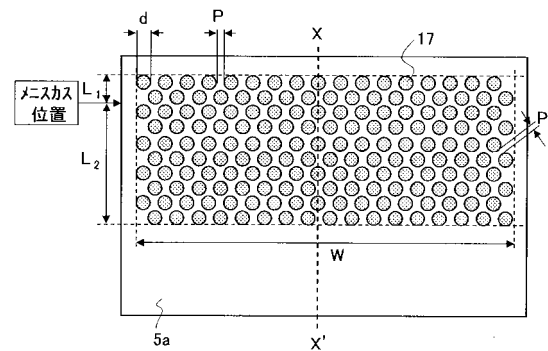
【図 1】



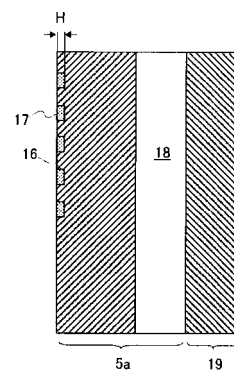
【図 2】



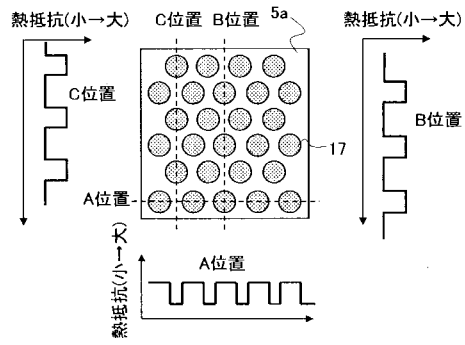
【図 3】



【図 4】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (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 ＪＦＥスチール株式会社内
- (72)発明者 石割 正敏
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 三木 祐司
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
- Fターム(参考) 4E004 AA05 AA07 MC07 MC20 NB01