

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7283633号  
(P7283633)

(45)発行日 令和5年5月30日(2023.5.30)

(24)登録日 令和5年5月22日(2023.5.22)

(51)国際特許分類	F I
B 2 2 D 11/115 (2006.01)	B 2 2 D 11/115 B
B 2 2 D 11/04 (2006.01)	B 2 2 D 11/04 3 1 1 F
B 2 2 D 11/20 (2006.01)	B 2 2 D 11/04 3 1 1 J
	B 2 2 D 11/20 A

請求項の数 5 (全11頁)

(21)出願番号 特願2022-514551(P2022-514551)	(73)特許権者 000001258
(86)(22)出願日 令和3年11月29日(2021.11.29)	J F E スチール株式会社
(86)国際出願番号 PCT/JP2021/043677	東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(87)国際公開番号 WO2022/138002	(74)代理人 100184859
(87)国際公開日 令和4年6月30日(2022.6.30)	弁理士 磯村 哲朗
審査請求日 令和4年3月3日(2022.3.3)	(74)代理人 100123386
(31)優先権主張番号 特願2020-216099(P2020-216099)	弁理士 熊坂 晃
(32)優先日 令和2年12月25日(2020.12.25)	(74)代理人 100196667
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	弁理士 坂井 哲也
	(74)代理人 100130834
	弁理士 森 和弘
	(72)発明者 澁田 直哉
	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 大山 智史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 鋼の連続鋳造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

垂直未凝固曲げ型連続鋳造機を用いて、スラブ鋳片を連続鋳造する鋼の連続鋳造方法であって、

鋳型内電磁攪拌装置により鋳型内の溶鋼に鋳型幅方向に移動する交流移動磁場を印加して、前記溶鋼に旋回流を誘起し、前記溶鋼を攪拌しつつ連続鋳造を行なうに当たり、

下記の(1)式で算出される前記交流移動磁場の進行速度が0.20~1.50m/sであり、

前記鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加される電流の周波数が0.2~1.0Hzであり、

鋳型高さ方向位置が、前記鋳型内電磁攪拌装置の前記コイルの高さ方向の中心位置で、鋳型厚み方向位置が、鋳型長辺の内面から15mmの位置の鋳型内において、前記交流移動磁場の磁束密度の鋳型厚み方向成分の実効値が、鋳型幅方向の平均値で0.008T以上0.030T以下である、鋼の連続鋳造方法。

$$U = 2 \cdot f \dots \dots (1)$$

(1)式において、Uは、交流移動磁場の進行速度(m/s)、は、鋳型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離(m)、fは、鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加される電流の周波数(Hz)である。

【請求項2】

連続鋳造されるスラブ鋳片の厚みが360mm以上540mm以下である、請求項1に

記載の鋼の連続鋳造方法。

【請求項 3】

連続鋳造されるスラブ鋳片の厚みが 400 mm 以上 500 mm 以下である、請求項 1 又は 2 に記載の鋼の連続鋳造方法。

【請求項 4】

鋳片引き抜き速度が 0.3 ~ 0.8 m/min である、請求項 2 又は 3 に記載の鋼の連続鋳造方法。

【請求項 5】

鋳型内溶鋼湯面から鋳造方向 50 mm 下方の位置でのスラブ鋳片の凝固界面における溶鋼の平均流速が 0.08 ~ 0.3 m/s である、請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の鋼の連続鋳造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直未凝固曲げ型連続鋳造機でスラブ鋳片を連続鋳造する鋼の連続鋳造方法に関し、詳しくは、鋳型内の溶鋼に交流移動磁場を印加して溶鋼に旋回流を誘起しつつ連続鋳造を行なう鋼の連続鋳造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ボイラー用鋼板、圧力容器用低合金鋼鋼板、海洋構造物や産業機械用の高強度鋼鋼板などには、板厚が 100 mm を超え、重要部材として使用されるもの（高品質極厚鋼板）がある。これらの高品質極厚鋼板では、使用性能上から、内部品質が問題になることがあるため、従来、造塊法を用いて大型鋳塊を製造し、この大型鋳塊を十分な圧下比で圧延または鍛造することによって高品質極厚鋼板を製造し、これによって高品質極厚鋼板の内部品質を改善する製造方法を探っていた。

20

【0003】

一方、上記の造塊法は生産性が低いので、連続鋳造法を用いて、鋳片厚みの厚い、いわゆる「極厚スラブ鋳片」を製造する方法も試みられている。ただし、連続鋳造法で得た極厚スラブ鋳片には、鋳片厚みの中心部に中心偏析やザクと呼ばれる鋳片欠陥が生じやすい。つまり、連続鋳造法で得た極厚スラブ鋳片から高品質極厚鋼板を製造する場合には、十分な圧下比が確保できないので、鋳片の内部欠陥が残存し、高品質極厚鋼板の内部品質が問題になることがある。ここで、「ザク」とは、結晶粒間にガス気泡などによる空隙が生成し、結晶粒が稠密に充填されていない状態を示す。

30

【0004】

また、連続鋳造法で極厚スラブ鋳片を連続鋳造する場合には、連続鋳造設備の機長の制約や鋳片のバルジング防止などから極低速鋳造を行うのが一般的である。極厚スラブ鋳片の低速鋳造においては、単位時間あたりの鋳型への溶鋼注入量が少なく、鋳型内溶鋼湯面（以下、「メニスカス」とも記す）での溶鋼の温度低下により、溶鋼が凝固して鋳型内溶鋼湯面に皮張りが発生しやすい。このような皮張りが発生した場合には、潤滑剤及び保温剤などの目的で鋳型内溶鋼湯面に投入されたモールドパウダーの巻き込み、及び、皮張り部の鋳片内部への持ち込みにより、極厚スラブ鋳片に内部欠陥が発生する。

40

【0005】

特許文献 1 には、厚みが 400 mm 以上の極厚スラブ鋳片を連続鋳造するにあたり、鋳型内の溶鋼に電磁攪拌を施して、メニスカス付近の溶鋼に旋回流速を付与する方法が開示されている。特許文献 1 によると、メニスカス付近の溶鋼に旋回流速を付与することで、メニスカスの皮張りの防止やメニスカス近傍での凝固シェルの成長の抑制を図り、上記した鋳型内のメニスカスでの溶鋼の温度低下に起因して発生する問題を解決できるとしている。

【0006】

特許文献 2 には、垂直型連続鋳造機を用いて、鋳片厚みが 380 mm 以上の極厚スラブ

50

鋳片を  $0.2 \text{ m/min}$  以下の鋳片引き抜き速度で連続鋳造する方法として、浸漬ノズルを実質鋳片厚みに対する中央部に設置して連続鋳造すること、タンディッシュ内溶鋼の液相線温度に対する過熱度を  $10 \sim 50$  として連続鋳造すること、及び、鋳型内電磁攪拌を使って鋳型内溶鋼を攪拌しながら連続鋳造することが開示されている。

【0007】

特許文献2によると、上記の連続鋳造方法によって、溶鋼中に等軸晶の核を多数生成させ、極厚スラブ鋳片の中心部に発生する等軸晶の粒径を微細化してザクの発生を抑制し、これにより、鋼板製品の靱性を改善できるとしている。また、特許文献2には、鋳型内電磁攪拌を使って鋳型内溶鋼を攪拌しながら連続鋳造すると、等軸晶の粒径を微細化する効果が高まることも開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開平11-277197号公報

特開2007-229736号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

近年では、上記極厚スラブ鋳片であっても、より高速で連続鋳造を行ない、生産性を高めることが求められている。

20

【0010】

しかしながら、特許文献1は、極厚スラブ鋳片の厚みが  $400 \text{ mm}$  の場合、鋳片引き抜き速度を  $0.25 \text{ m/min}$  とした例しか示しておらず、また、鋳型内電磁攪拌の条件については、メニスカス近傍での溶鋼の旋回流速が  $0.2 \sim 0.4 \text{ m/s}$  となるように電磁攪拌を施すとしか記載していない。

【0011】

特許文献2は、垂直型連続鋳造機を使用しており、垂直型連続鋳造機では、連続鋳造設備の機長の関係から、垂直未凝固曲げ型連続鋳造機に比較して鋳片引き抜き速度を遅くせざるを得ず、したがって、極厚スラブ鋳片の厚みが  $380 \text{ mm}$  の場合、鋳片引き抜き速度が  $0.15 \sim 0.16 \text{ m/min}$  の例しか示していない。また、その際の鋳型内電磁攪拌の条件については記載していない。

30

【0012】

このように、従来、垂直未凝固曲げ型連続鋳造機を用いて極厚スラブ鋳片を連続鋳造する際に、極厚スラブ鋳片をより高速で鋳造するための鋳型内電磁攪拌の印加条件は見出されていない。また、極厚スラブ鋳片の対象となる鋼種は、亜包晶鋼などの鋳片表面に表面割れが発生しやすい鋼種を含むので、鋳片引き抜き速度を増加させると鋳型内初期凝固の不均一が生じやすくなり、極厚スラブ鋳片の表面割れ発生リスクが著しく高まる。

【0013】

すなわち、極厚スラブ鋳片の品質については、従来は内部品質が主に顧みられてきたが、極厚スラブ鋳片の鋳片引き抜き速度の増加に伴い、表面割れ防止も考慮した鋳造条件の設定が必要となっている。

40

【0014】

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、極厚スラブ鋳片であっても、垂直未凝固曲げ型連続鋳造機を用いて、より高速に連続鋳造し、得られるスラブ鋳片の内部品質を確保すると同時に表面割れも防止する鋼の連続鋳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】

【0015】

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。

【0016】

50

[ 1 ] 垂直未凝固曲げ型連続鋳造機を用いて、スラブ鋳片を連続鋳造する鋼の連続鋳造方法であって、

鋳型内電磁攪拌装置により鋳型内の溶鋼に鋳型幅方向に移動する交流移動磁場を印加して、前記溶鋼に旋回流を誘起し、前記溶鋼を攪拌しつつ連続鋳造を行なうに当たり、

下記の( 1 )式で算出される前記交流移動磁場の進行速度が  $0.20 \sim 1.50 \text{ m/s}$  である、鋼の連続鋳造方法。

$$U = 2 \quad f \dots \dots \dots ( 1 )$$

( 1 ) 式において、 $U$  は、交流移動磁場の進行速度 ( $\text{m/s}$ )、 $\lambda$  は、鋳型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離 ( $\text{m}$ )、 $f$  は、鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加される電流の周波数 ( $\text{Hz}$ ) である。

【 0 0 1 7 】

[ 2 ] 前記鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加される電流の周波数が  $0.2 \sim 1.0 \text{ Hz}$  である、上記 [ 1 ] に記載の鋼の連続鋳造方法。

【 0 0 1 8 】

[ 3 ] 鋳型高さ方向位置が、前記鋳型内電磁攪拌装置のコイルの高さ方向の中心位置で、鋳型厚み方向位置が、鋳型長辺の内面から  $15 \text{ mm}$  の位置の鋳型内において、前記交流移動磁場の磁束密度の鋳型厚み方向成分の実効値が、鋳型幅方向の平均値で  $0.008 \text{ T}$  以上である、上記 [ 1 ] または上記 [ 2 ] に記載の鋼の連続鋳造方法。

【 0 0 1 9 】

[ 4 ] 連続鋳造されるスラブ鋳片の厚みが  $360 \text{ mm}$  以上  $540 \text{ mm}$  以下である、上記 [ 1 ] から上記 [ 3 ] のいずれかに記載の鋼の連続鋳造方法。

【 0 0 2 0 】

[ 5 ] 連続鋳造されるスラブ鋳片の厚みが  $400 \text{ mm}$  以上  $500 \text{ mm}$  以下である、上記 [ 1 ] から上記 [ 3 ] のいずれかに記載の鋼の連続鋳造方法。

【 0 0 2 1 】

[ 6 ] 鋳片引き抜き速度が  $0.3 \sim 0.8 \text{ m/min}$  である、上記 [ 4 ] または上記 [ 5 ] に記載の鋼の連続鋳造方法。

【 0 0 2 2 】

[ 7 ] 鋳型内容鋼湯面から鋳造方向  $50 \text{ mm}$  下方の位置でのスラブ鋳片の凝固界面における溶鋼の平均流速が  $0.08 \sim 0.3 \text{ m/s}$  である、上記 [ 1 ] から上記 [ 6 ] のいずれかに記載の鋼の連続鋳造方法。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、スラブ鋳片を垂直未凝固曲げ型連続鋳造機で連続鋳造するに当たり、鋳型内電磁攪拌の条件を好適に定めることにより、極厚スラブ鋳片であっても内部品質が良好で表面割れのないスラブ鋳片を、より高速の鋳片引き抜き速度の鋳造条件で連続鋳造することが実現される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 図 1 は、数値計算結果の一例を示す図であり、鋳型内容鋼温度分布に及ぼすコイルに印加される電流の周波数の影響を調査した結果である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 5 】

以下、本発明の実施形態を具体的に説明する。

【 0 0 2 6 】

本発明に係る鋼の連続鋳造方法は、スラブ鋳片を垂直未凝固曲げ型連続鋳造機で連続鋳造する方法であって、一对の鋳型長辺と一对の鋳型短辺とを有し、前記鋳型長辺と前記鋳型短辺とで矩形の内部空間を形成する連続鋳造用鋳型の前記一对の鋳型長辺の背面に、鋳型長辺を挟んで相対する一对の磁極を配置する。この磁極は、垂直未凝固曲げ型連続鋳造機で連続鋳造されるスラブ鋳片の最大幅を覆う鋳型幅方向の範囲に設置されている。この

磁極から、磁場の移動方向が鋳型幅方向である交流移動磁場を発生させて、鋳型内の溶鋼に交流移動磁場を印加し、鋳型内の溶鋼に旋回流を誘起し、鋳型内の溶鋼を攪拌しつつ連続鋳造を行なうものである。

【 0 0 2 7 】

鋳型内の溶鋼に交流移動磁場を印加すると、交流移動磁場が作用する範囲の鋳型内の溶鋼は、鋳片長辺の凝固界面に沿って交流移動磁場の移動方向に移動する。一对の鋳型長辺を挟んで相対する一对の磁極から印加する交流移動磁場の移動方向をそれぞれ逆方向とすることで、相対する鋳片長辺の凝固界面近傍の溶鋼は、それぞれ鋳型幅方向の逆方向に移動するので、鋳型内に鋳型幅方向に旋回する溶鋼の旋回流が誘起される。これにより、鋳型内溶鋼には、水平方向に回転する流速成分を有する溶鋼の攪拌流が形成される。

10

【 0 0 2 8 】

交流移動磁場の移動方向は、一对の磁極から印加する交流移動磁場の移動方向がそれぞれ逆方向である限り、鋳型の真上から見た場合の磁場の移動方向が時計廻りの方向であっても、また、反時計廻りの方向であっても、どちらでもよい。時計廻りの方向であっても、また、反時計廻りの方向であっても、効果は同一である。尚、鋳型長辺に対して同じ背面側の磁極からは、同じ移動方向の交流移動磁場が印加される。

【 0 0 2 9 】

ここで、「垂直未凝固曲げ型連続鋳造機」とは、鋳型及び鋳型の下方数mの範囲が垂直、つまり、鉛直（垂直部）で、垂直部の下方は円弧状に湾曲（湾曲部）し、その後、水平方向（水平部）に鋳片を引き抜く連続鋳造機である。すなわち、鋳片の内部に未凝固相が存在する状態で、垂直部から湾曲部へと鋳片を引き抜く連続鋳造機である。

20

【 0 0 3 0 】

本発明者らは、上記のような交流移動磁場を利用して鋳型内溶鋼の流動制御を行う連続鋳造方法において、鋳片の厚みが400mm～500mm、鋳片幅が1900mm～2450mmである極厚スラブ鋳片を連続鋳造した場合について、鋳型内の溶鋼流動状況に関する調査を行った。ここで、「極厚スラブ鋳片」とは、スラブ鋳片の厚みが360mm以上のスラブ鋳片である。極厚スラブ鋳片の幅は、通常、およそ1000mm以上であるが、高品質極厚鋼板を対象とする場合には、極厚スラブ鋳片の単位長さあたりの質量を大きくすることが望ましく、この場合には、鋳片幅は1600mm以上となる。

【 0 0 3 1 】

この調査では、主に数値計算により、鋳片引き抜き速度と交流移動磁場の印加条件との組み合わせを変化させて鋳型内溶鋼の流速分布を繰り返し求めた。なお、タンディッシュから鋳型内に溶鋼を注入するための浸漬ノズルの条件は、吐出孔は、横が65mmで、縦が75mmの矩形の2孔で、吐出孔の吐出角度は水平方向から下向きに15～25°、浸漬深さは200mmとした。ここで、「浸漬ノズルの浸漬深さ」とは、メニスカスから浸漬ノズル吐出孔上端までの長さ（距離）である。

30

【 0 0 3 2 】

その結果、下記の(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度が0.20～1.50m/sを満足する条件で連続鋳造を行なうことにより、鋳片引き抜き速度を0.3m/min以上とする鋳造条件でも、欠陥の少ない高品質の極厚スラブ鋳片が得られることを見出した。

40

【 0 0 3 3 】

$$U = 2 \quad f \dots\dots\dots (1)$$

(1)式において、Uは、交流移動磁場の進行速度(m/s)、 $\ell$ は、鋳型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離(m)、fは、鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加される電流の周波数(Hz)である。

【 0 0 3 4 】

鋳型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離(ポールピッチ) $\ell$ は、通常、可変にはできず、一旦、鋳型内電磁攪拌装置の設備を導入すると一定値に固定される。したがって、上記の(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度を0.20～1.50m/sの範囲に

50

制御するためには、設置された鋳型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離 に合わせて、コイルに印加する電流の周波数を調整する。例えば、コイルの磁極間距離 が 700 mm であれば、コイルに印加する電流の周波数を 0.143 Hz から 1.071 Hz の範囲内とすることで、(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度  $U$  は 0.20 ~ 1.50 m/s となる。つまり、コイルの磁極間距離 が 700 mm の場合、コイルに印加する電流の周波数を 0.2 ~ 1.0 Hz の範囲とすれば、(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度  $U$  は 0.20 ~ 1.50 m/s の範囲内となる。

#### 【0035】

(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度が 0.20 m/s 未満であると、交流移動磁場の進行速度が遅すぎて、鋳型内溶鋼の流動を制御するに至らない。一方、(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度が 1.50 m/s を超えると、交流移動磁場によって溶鋼に誘起される水平方向の旋回流が鋳型内面近傍のみとなり(鋳型厚み中央付近の溶鋼には旋回流が誘起されにくい)、その結果、鋳型内溶鋼湯面での溶鋼温度の分布が著しくなる。つまり、鋳型厚み中央付近の溶鋼の温度に比較して鋳型内面近傍の溶鋼の温度が低下して、鋳型内溶鋼湯面での溶鋼の温度差が大きくなり、スラブ鋳片の品質に悪影響を及ぼす。これは、鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加される電流の周波数が大きいほど表皮効果により、交流移動磁場が鋳型厚み中央方向に浸透しにくくなるためである。

10

#### 【0036】

図1に数値計算結果の一例を示す。図1は、鋳片厚みが 460 mm、鋳片幅が 2400 mm の極厚スラブ鋳片を 0.6 m/min の鋳片引き抜き速度で連続鋳造する際の、鋳型長辺表面から 2.5 mm 離れた位置における溶鋼温度分布に及ぼすコイルに印加される電流の周波数の影響を調査した結果である。コイルの磁極間距離 はいずれも 700 mm である。

20

#### 【0037】

コイルに印加される電流の周波数が 3.3 Hz の場合、(1)式で算出される交流移動磁場の進行速度は 4.6 m/s となり、本発明の範囲を満足しない。この時、図1に示すように、溶鋼温度の最大値と最小値との差は 2.0 である。また、鋳型短辺の近傍に、溶鋼温度の低い部位が形成されている。これは、温度の高い溶鋼の供給源である浸漬ノズルが存在する鋳型厚み中央まで交流移動磁場による旋回流が及んでおらず、鋳型内面近傍の比較的低温の溶鋼のみが交流移動磁場によって旋回していることを示すものと考えられる。

30

#### 【0038】

一方、コイルに印加される電流の周波数が 0.35 Hz の場合、(1)式で算出される移動磁場の進行速度は 0.49 m/s となり、本発明の範囲を満足する。この場合には、図1に示すように、溶鋼温度の最大値と最小値との差は 1.6 であり、周波数が 3.3 Hz の電流をコイルに印加した場合よりも温度差は小さくなり、鋳型内溶鋼の温度分布がより均一に近づくことがわかる。また、コイルに印加される電流の周波数が 3.3 Hz の場合に認められた低温部は存在せず、コイルに印加される電流の周波数が 0.35 Hz の場合の方が、ほとんどの鋳型幅方向において溶鋼温度が高い。これは、鋳型厚み中央まで交流移動磁場による旋回流が及んだ結果、浸漬ノズルから供給される高温の溶鋼が鋳型内全体に供給されていることを示すものと考えられる。これにより、極厚スラブの連続鋳造において、鋳片引き抜き速度を増加させても鋳型内初期凝固の不均一が生じにくくなり、極厚スラブ鋳片の表面割れ発生リスクが低減できる。

40

#### 【0039】

なお、鋳型高さ方向位置が、鋳型内電磁攪拌装置のコイルの高さ方向の中心位置で、鋳型厚み方向位置が、鋳型長辺の内面から鋳型厚み中央に向かって 15 mm の位置の鋳型内において、交流移動磁場の磁束密度の鋳型厚み方向成分の実効値が、鋳型幅方向の平均値で 0.008 T 以上であることが好ましい。この位置で、上記条件を満たす磁束密度が確保できれば、交流移動磁場により溶鋼に誘起される旋回流で、好適な鋳型内溶鋼流動が実現できる。また、交流移動磁場の磁束密度は強いほど、溶鋼に旋回流を誘起しやすくなる

50

ので、磁束密度の上限は設ける必要がない。

【0040】

ただし、磁束密度を強くするためにはコイルに印加する電流密度を増加させる必要があり、高電流密度に耐用可能な設備とするための設備コストや、高電流を印加することによる電力コストの増大を考慮すると、交流移動磁場の磁束密度の鑄型厚み方向成分の実効値が、鑄型幅方向の平均値で0.030 T以下であれば実用上充分である。

【0041】

また、鑄型内溶鋼湯面から鑄造方向50 mm下方の位置でのスラブ鑄片の凝固界面における溶鋼の平均流速が0.08 ~ 0.3 m/sであることが、より好ましい。ここで、平均流速とは、溶鋼流速の時間平均値を、鑄型内溶鋼湯面から鑄造方向50 mm下方かつ固相率  $f_s = 0.5$  の位置で空間平均した値である。この値は、溶鋼の凝固を考慮した数値流動解析によって求めることができる。例えば、鑄型内溶鋼湯面から鑄造方向50 mm下方で固相率  $f_s = 0.5$  の計算メッシュにおける各流速の時間平均値の大きさ(3次元流速ベクトルの大きさ)を算術平均して求めればよい。

10

【0042】

鑄型内溶鋼湯面から鑄造方向50 mm下方の位置でのスラブ鑄片の凝固界面における溶鋼の平均流速が0.08 m/sよりも遅いと、溶鋼中に懸濁した非金属介在物などが凝固シェルに捕捉されやすくなり、スラブ鑄片に欠陥が発生するリスクが高まる。一方、鑄型内溶鋼湯面から鑄造方向50 mm下方の位置でのスラブ鑄片の凝固界面における溶鋼の平均流速が0.3 m/sを超えると、溶鋼流が高速で凝固シェルに衝突して凝固シェルが再溶解し、連続鑄造中のブレイクアウトのリスクが生じる。

20

【0043】

本発明者らは、上述の例に加え、鑄片の厚みが360 mm以上540 mm以下の範囲まで条件を追加して数値計算を行ない、以下の傾向を確認した。

【0044】

本発明に係る鋼の連続鑄造方法は、連続鑄造されるスラブ鑄片の厚みが360 mm以上540 mm以下の極厚スラブ鑄片である場合に、より好適にその効果を楽しむことができる。スラブ鑄片の厚みが360 mm未満では、スラブ鑄片が薄いので、交流移動磁場により溶鋼に誘起される旋回流が鑄型内面近傍のみであっても鑄型内溶鋼全体に攪拌効果が作用し、本発明を適用することにより得られる効果は小さい。スラブ鑄片の厚みが540 mmを超えると、鑄型厚み方向中央近傍まで交流移動磁場を浸透させるためには、鑄型内電磁攪拌装置を大型化することが必要であり、鑄型内電磁攪拌装置の設備コストが上昇する。なお、連続鑄造されるスラブ鑄片の厚みが400 mm以上500 mm以下である場合は、さらに好ましい。

30

【0045】

さらに、本発明は、連続鑄造されるスラブ鑄片の厚みが360 mm以上540 mm以下の極厚スラブ鑄片である場合に、鑄片引き抜き速度を0.3 ~ 0.8 m/minとする連続鑄造操業に適用すると、その効果がより顕著に発揮されるので好ましい。本発明により、極厚スラブ鑄片の連続鑄造において、従来の垂直型連続鑄造機では実現が難しかった鑄片引き抜き速度が0.3 m/min以上の高速鑄造化が可能になる。なお、極厚スラブ鑄片の連続鑄造において、鑄片引き抜き速度が0.8 m/minを超えると連続鑄造設備の機長の延長や溶鋼を供給する精錬工程の能力増強が必要になるので、実用上、鑄片引き抜き速度は0.8 m/min以下で充分である。

40

【0046】

以上説明したように、本発明によれば、スラブ鑄片を垂直未凝固曲げ型連続鑄造機で連続鑄造するにあたり、鑄型内電磁攪拌の条件を好適に定めることにより、極厚スラブ鑄片であっても内部品質が良好で表面割れのないスラブ鑄片を、より高速の鑄片引き抜き速度の鑄造条件で連続鑄造することが実現される。

【実施例1】

【0047】

50

鑄片厚みが410mmで、鑄片幅が1900mmである、炭素含有量が0.12質量%の炭素鋼の極厚スラブ鑄片を、垂直部が4.5mの垂直未凝固曲げ型連続鑄造機を用いて、鑄片引き抜き速度を0.8m/minで連続鑄造する際に、本発明を適用した。

【0048】

使用した浸漬ノズルは、横が65mmで、縦が75mmの矩形の吐出孔を、浸漬ノズルの左右にそれぞれ有する2孔型浸漬ノズルであり、吐出孔の吐出角度（水平方向に対する角度）を下向き15°とし、浸漬深さを200mmとした。

【0049】

使用した鑄型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離は700mmであり、この鑄型内電磁攪拌装置においては、鑄型高さ方向位置が、鑄型内電磁攪拌装置のコイルの高さ方向の中心位置で、鑄型厚み方向位置が、鑄型長辺の内面から15mmの位置の鑄型内において、交流移動磁場の磁束密度の鑄型厚み方向成分の実効値は、鑄型幅方向の平均値で0.008Tであった。

10

【0050】

本発明例1では、鑄型内電磁攪拌装置のコイルに印加する電流の周波数 $f$ を0.4Hz（交流移動磁場の進行速度 $U = 0.56\text{ m/s}$ ）として連続鑄造を行った。

【0051】

また、比較のために、鑄型内電磁攪拌装置のコイルに電流を印加しない条件、つまり電磁攪拌を行わない条件（比較例1）、及び、鑄型内電磁攪拌装置のコイルに印加する電流の周波数 $f$ を3.3Hz（交流移動磁場の進行速度 $U = 4.62\text{ m/s}$ ）とする条件（比較例2）での連続鑄造も行った。

20

【0052】

連続鑄造後に、製造された極厚スラブ鑄片の内部品質及び表面品質を調査した。内部品質は、研磨された鑄片断面の塩酸腐食試験及びサルファープリントによって、中心偏析、ザク及び内部割れを調査した。表面品質は、ショットブラストによって鑄片表面の酸化膜などを除去した後に、浸透試験によって鑄片表面の縦割れ、横割れ及び介在物の巻き込みを調査した。

【0053】

本発明例1では、極厚スラブ鑄片の内部品質及び表面品質ともに、欠陥は発生しなかった。これに対して、比較例1では、中心偏析及びザクが発生していた。比較例2では、内部品質は健全であったが、鑄片表面に縦割れが発生していた。

30

【実施例2】

【0054】

鑄片厚みが460mmで、鑄片幅が2200mmである、炭素含有量が0.16質量%の炭素鋼の極厚スラブ鑄片を、垂直部が4.5mの垂直未凝固曲げ型連続鑄造機を用いて、鑄片引き抜き速度を0.6m/minで連続鑄造する際に、本発明を適用した。

【0055】

使用した浸漬ノズルは、横が65mmで、縦が75mmの矩形の吐出孔を、浸漬ノズルの左右にそれぞれ有する2孔型浸漬ノズルであり、吐出孔の吐出角度（水平方向に対する角度）を下向き15°とし、浸漬深さを200mmとした。

40

【0056】

使用した鑄型内電磁攪拌装置のコイルの磁極間距離は700mmであり、この鑄型内電磁攪拌装置においては、鑄型高さ方向位置が、鑄型内電磁攪拌装置のコイルの高さ方向の中心位置で、鑄型厚み方向位置が、鑄型長辺の内面から15mmの位置の鑄型内において、交流移動磁場の磁束密度の鑄型厚み方向成分の実効値は、鑄型幅方向の平均値で0.008Tであった。

【0057】

本発明例2では、鑄型内電磁攪拌装置のコイルに印加する電流の周波数 $f$ を0.4Hz（交流移動磁場の進行速度 $U = 0.56\text{ m/s}$ ）として連続鑄造を行った。

【0058】

50

また、比較のために、鋳型内電磁攪拌装置のコイルに印加する電流の周波数  $f$  を  $3.3 \text{ Hz}$  (交流移動磁場の進行速度  $U = 4.62 \text{ m/s}$ ) とする条件 (比較例 3) での連続鋳造も行った。

【0059】

連続鋳造後に、製造された極厚スラブ鋳片の内部品質及び表面品質を調査した。内部品質は、研磨された鋳片断面の塩酸腐食試験及びサルファープリントによって、中心偏析、ザク及び内部割れを調査した。表面品質は、ショットブラストによって鋳片表面の酸化膜などを除去した後に、浸透試験によって鋳片表面の縦割れ、横割れ及び介在物の巻き込みを調査した。

【0060】

本発明例 2 では、極厚スラブ鋳片の内部品質及び表面品質ともに、欠陥は発生しなかった。これに対して、比較例 3 では、内部品質は健全であったが、鋳片表面に介在物の巻き込みが発生していた。

10

20

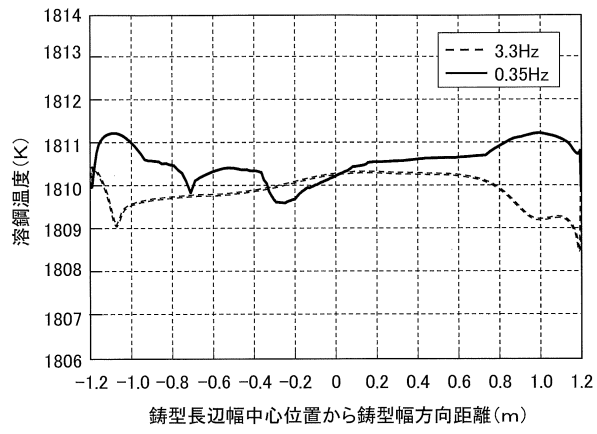
30

40

50

【図面】

【図 1】



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 田中 芳幸  
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
- 審査官 松村 駿一
- (56)参考文献 特開2018-103198(JP,A)  
特開平11-277197(JP,A)  
特開2000-015413(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
B 2 2 D 1 1 / 1 1 5  
B 2 2 D 1 1 / 0 4  
B 2 2 D 1 1 / 2 0