

(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2017-13100

(P2017-13100A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 2 D 11/16 (2006.01)	B 2 2 D 11/16 1 0 6 B	4 E 0 0 4
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 4 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2015-134020 (P2015-134020)	(71) 出願人	000006655
(22) 出願日	平成27年7月3日 (2015.7.3)		新日鐵住金株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
		(74) 代理人	100095957
			弁理士 亀谷 美明
		(74) 代理人	100096389
			弁理士 金本 哲男
		(74) 代理人	100101557
			弁理士 萩原 康司
		(74) 代理人	100128587
			弁理士 松本 一騎
		(72) 発明者	山▲崎▼ 伯公
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 連続鋳造用鋳型

(57) 【要約】

【課題】 鋳片の品質劣化を十分に抑制しつつ、鋳型による鋳片の拘束を回避して、高品質の鋳片を安定鋳造する。

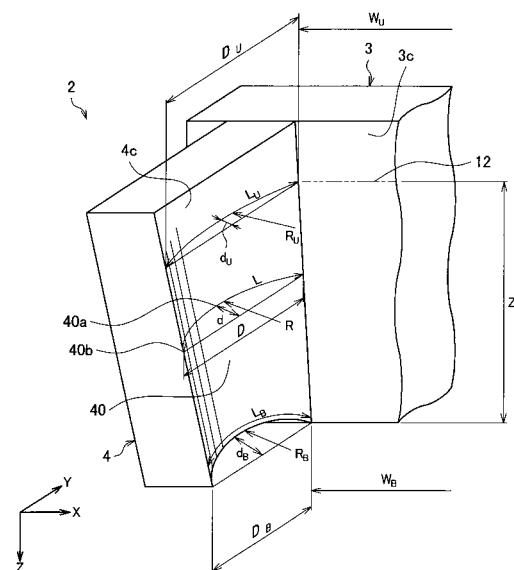
【解決手段】 本発明の連続鋳造用鋳型2は、一対の短辺鋳型板4、4と一対の長辺鋳型板3、3を備える。長辺鋳型板3にはテーパが付与されており、下記式(1)で定義される長辺鋳型板3のテーパ率 T_W は、下記式(2)を満たしている。短辺鋳型板4の内側面には、鋳型外側に向けて膨らんだ湾曲凹部40が形成されており、湾曲凹部40は、長辺鋳型板3のテーパによる短辺鋳型板4の幅の収縮量に応じて、鋳型2の下端に向かうほど深くなっている。

$$T_W = \{ (D_U - D_B) / D_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \dots (1)$$

$$(7000 / Z) \leq T_W \leq (40000 / Z)$$

$$\dots (2)$$

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一对の短辺鋳型板と、前記一对の短辺鋳型板を挟み込む一对の長辺鋳型板とを備えた連続鋳造用鋳型において、

前記長辺鋳型板にはテーパが付与されており、前記長辺鋳型板のテーパ率 T_w [%/m] を下記式 (1) で定義したとき、前記テーパ率 T_w は、下記式 (2) を満たしており、
前記短辺鋳型板の内側面には、鋳型外側に向けて膨らんだ湾曲凹部が形成されており、前記湾曲凹部は、前記長辺鋳型板のテーパによる前記短辺鋳型板の幅の収縮量に応じて、鋳型の下端に向かうほど深くなっている、連続鋳造用鋳型。

$$T_w = \{ (D_U - D_B) / D_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \dots (1) \quad 10$$

$$(7000 / Z) \leq T_w \leq (40000 / Z) \quad \dots (2)$$

ここで、

D_U : メニスカス位置における前記短辺鋳型板の幅 [mm]

D_B : 前記鋳型の下端における前記短辺鋳型板の幅 [mm]

Z : 前記メニスカス位置から前記鋳型の下端までの距離 [mm]

である。

【請求項 2】

前記メニスカス位置から前記鋳型の下端までの前記湾曲凹部の形状変化により生じる、前記短辺鋳型板の仮想的なテーパのテーパ率 T_v [%/m] を下記式 (3) で定義したとき、前記テーパ率 T_v は、下記式 (4) を満たす、請求項 1 に記載の連続鋳造用鋳型。

$$T_v = \{ (L_U - L_B) / L_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \dots (3) \quad 20$$

$$0 \leq T_v \leq 1.5 \quad \dots (4)$$

ここで、

L_U : 前記メニスカス位置における前記短辺鋳型板の内側面の前記湾曲凹部に沿った表面長 [mm]

L_B : 前記鋳型の下端における前記短辺鋳型板の内側面の前記湾曲凹部に沿った表面長 [mm]

Z : 前記メニスカス位置から前記鋳型の下端までの距離 [mm]

である。

【請求項 3】

前記鋳型の下端における前記湾曲凹部の深さ d_B と、前記鋳型の下端における前記短辺鋳型板の幅 D_B は、下記式 (5) を満たす、請求項 1 又は 2 に記載の連続鋳造用鋳型。

$$(d_B / D_B) \leq 0.5 \quad \dots (5) \quad 30$$

【請求項 4】

前記湾曲凹部の水平断面形状は、同一の曲率半径を有する 3 つの円弧部からなり、
前記 3 つの円弧部は、
前記湾曲凹部の中央に配置され、鋳型外側に向けて凸である 1 つの内側円弧部と、
前記内側円弧部の両側に配置され、鋳型内側に向けて凸である 2 つの外側円弧部と、
を含む、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の連続鋳造用鋳型。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、強テーパを有する鋳型長辺を用いて高品質の鋳片を安定的に鋳造するための連続鋳造用鋳型に関する。

【背景技術】

【0002】

鋼をはじめとする溶融金属の連続鋳造では、連続鋳造用の鋳型内に溶融金属を注入すると、鋳型に接する溶融金属の外周部分が凝固して凝固シェルを形成し、該凝固シェルを外殻とする鋳片が鋳型の下方に引き抜かれ、鋳型下方の二次冷却帯で凝固が進行して最終的

50

に連続鋳造鋳片が形成される。かかる連続鋳造を行う連続鋳造装置は、一对の長辺鋳型板で一对の短辺鋳型板を幅方向両側から挟むように組み立てられる鋳型を備える。これら鋳型板の溶融金属に接する側は水冷銅板で構成されている。短辺鋳型板の幅は、鋳造される鋳片の厚みにほぼ等しく、鋳型下端における短辺鋳型板間の距離は、該鋳片の幅にほぼ等しい。

【0003】

上記鋳型内で凝固シェルが下方に移動する過程において、凝固シェルは凝固の進行とともに収縮する。従って、鋳型内の溶融金属のメニスカス位置（湯面位置）で凝固を開始した凝固シェルは、鋳型下端に到達したときには収縮しており、鋳型下端における鋳片の幅や厚さは、メニスカス位置と比較して小さくなっている。スラブの連続鋳造においては、鋳片の厚みに比較して幅が広いので、鋳片幅方向の収縮量が大きい。鋳型の下部側において、凝固シェルの収縮に伴って鋳型と凝固シェルとの間に空隙が生じると、凝固シェルから鋳型への抜熱が阻害され、十分な鋳型冷却ができなくなるとともに、鋳型による支持を失った凝固シェルが外方に膨れるバルジングを起こすこととなる。

【0004】

そこで、少なくとも鋳型短辺にテーパを設け、鋳型上部のメニスカス位置における鋳型短辺間の間隔よりも、鋳型下端における鋳型短辺間の間隔を狭めるようにすることが一般的である。そして、高品質の鋳片を安定的に鋳造するためには、上記鋳型短辺のテーパ量を凝固シェルの収縮量に合わせて適切に設計する必要がある。

【0005】

例えば、短辺テーパ量が小さすぎる場合には、凝固シェルと短辺鋳型板との接触が不均一になり、冷却のアンバランスが発生し、凝固シェル成長の不均一、溶融金属静圧による鋳片表面の割れが発生する。特に、短辺テーパ量が適正量よりも小さい場合、鋳型下端付近における凝固シェルの厚み分布において、凝固シェルの長辺側のコーナー近傍に凝固厚みが特に薄い部位が発生しやすくなり、該薄い部位に対応する鋳片表面に縦割れが発生しやすい。一方、短辺テーパ量が大きすぎる場合には、凝固シェルと短辺鋳型板との接触が強くなり、凝固シェルに過大な応力（摩擦拘束力）が加わり、凝固シェルの破断や、これに伴うブレイクアウトが発生する。また、凝固シェルと鋳型間の摩擦拘束力の増大に伴い、鋳型寿命の低下を引き起こす場合もある。

【0006】

ところで、一般的な鋼の連続鋳造装置においては、タンディッシュの溶鋼を鋳型内に吐出するために浸漬ノズルが使用される。浸漬ノズルの下端近傍には、水平方向に対して下向きの吐出孔が例えば2箇所形成されている。そして、該浸漬ノズル内を洗浄するために、非酸化性ガス、例えばArガス（アルゴンガス）を吹き込みながら、吐出孔から鋳型内に溶鋼が吐出される。この吐出された溶鋼の吐出流にはArガス気泡が含まれており、該Arガス気泡は、浸漬ノズルに沿って上昇する溶鋼の流れに乗ってメニスカス位置まで浮上する。このArガス気泡の一部は、メニスカス位置で除去されずに、鋳型内に形成された凝固シェルに捕捉されてしまう。この結果、鋳造された鋳片表層に多数のArガス気泡が残存するため、鋳片の強度低下や、鋳片の表面欠陥の原因となってしまう。特に、薄い鋳片の連続鋳造では、一对の鋳型長辺が相互に接近し、鋳型長辺と浸漬ノズルの間隔が狭くなるため、浸漬ノズルと鋳型長辺の間でArガス気泡が拡散できる領域が狭くなる。従って、上記浮上したArガス気泡が鋳型長辺の凝固シェルに捕捉されやすいので、鋳造された鋳片の表面欠陥が生じやすくなる。

【0007】

そこで、例えば特許文献1には、上記Arガス気泡や、溶鋼中の脱酸生成物、モールドパウダ等が、鋳型長辺の凝固シェルに捕捉されることを防止するために、鋳型長辺における浸漬ノズルと対向する位置に鋳型外側に膨らんだ湾曲部が形成された鋳型、いわゆるファンネル形鋳型が開示されている。かかるファンネル形鋳型によれば、浸漬ノズルの吐出口より上部側で鋳型長辺と浸漬ノズルの間隔をある程度確保できるので、鋳型長辺と浸漬ノズル間の領域でArガス気泡を拡散させ、Arガス気泡が凝固シェルに捕捉されること

10

20

30

40

50

を抑制できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010-110765号公報

【特許文献2】特開2005-211936号公報

【特許文献3】特開平8-215794号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

10

しかしながら、上記特許文献1記載のファンネル形鑄型では、凝固シェルへのArガス気泡の混入を原因とする鑄片の表面欠陥を抑制する効果は、鑄型長辺における湾曲部の形成範囲に依存しており、該湾曲部の形成範囲が狭いと、該表面欠陥の抑制効果が低くなるという問題があった。一般的な鑄型では、鑄片幅の異なる多サイズの鑄片を鑄造可能とするために、一对の短辺を鑄片幅方向に移動させる鑄片幅可変機構を備えている。該鑄片幅可変機構を備えたファンネル形鑄型においては、鑄片の最小幅に合わせて、鑄型長辺における湾曲部の形成範囲を狭い範囲に制限せざるを得ない。このため、湾曲部の形成範囲が狭くなり、幅狭から幅広までの多サイズの鑄片を1つの鑄型で鑄造しようとする、Arガス気泡による表面欠陥の抑制効果を十分に得られなかった。

【0010】

20

かかる問題を解決するためには、上記ファンネル形鑄型に代えて、平板型的一对の鑄型長辺にテーパを付与することによって、メニスカス位置における一对の鑄型長辺間の距離を長辺全幅に渡って大きくし、鑄型長辺と浸漬ノズルとの間の隙間を広くするという対策が考えられる。

【0011】

ところが、鑄型内における鑄片の厚み方向のテーパ率は、幅方向のテーパ率と比べて小さく設定されているため、従来では、鑄型長辺にテーパを設ける場合であっても、長辺テーパ率は1.5%/m以下の弱テーパであることが一般的であった。これは、厚み方向のテーパは長辺面と凝固シェルの接触力に関係し、幅方向の短辺面と比べると、面積が大幅に大きいため、接触力が大きくなるためである。例えば、特許文献2には、長辺テーパ率が0.2~0.9%/mである鑄型が開示されている。しかし、このような鑄型長辺に弱テーパを設けただけでは、メニスカス位置において鑄型長辺と浸漬ノズルとの間に広い隙間を確保できないので、上記Arガス気泡による表面欠陥の抑制効果を十分に得られない。

30

【0012】

そこで、一对の鑄型長辺に強テーパ（例えば、テーパ率：7%/m以上）を設けることで、メニスカス位置において鑄型長辺間の距離を長辺全幅に渡って十分に大きくし、鑄型長辺と浸漬ノズルとの間に広い隙間を確保するという対策が考えられる。しかしながら、鑄型長辺に強テーパを設けると、鑄型内における鑄片の厚み方向（即ち、鑄型短辺の幅方向）の収縮量が過大になり、鑄型による鑄片の厚み方向の拘束が甚大になるので、鑄片を鑄型下端から引き抜けなくなってしまうという問題があった。

40

【0013】

なお、特許文献3には、厚さ100mm以下の薄スラブ用の連続鑄造機の鑄型において、鑄型長辺にテーパを設けるとともに、鑄型短辺を凸円弧状又は山形の凸部を設けることで、端面が外側に膨らんだ鑄片（薄スラブ）を鑄造することが開示されている。しかし、この特許文献3の技術においては、鑄型短辺の凸部は、単に、端面を外側に膨らませた形状の鑄片を鑄造するために設けられているに過ぎない。そして、該凸部の断面積が鑄型下端に向かうにつれ小さくなっていく構造であるので、長辺テーパにより生じる鑄片の厚み方向の収縮量を、該凸部によって吸収することはできない。従って、特許文献3の技術では、上述したような鑄型長辺の強テーパが原因で鑄片が鑄型により拘束されてしまうとい

50

う問題を解決することはできない。

【0014】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、メニスカス位置において鋳型長辺と浸漬ノズルの間に広い隙間を確保して、Arガス気泡等の介在物の混入による鋳片の品質劣化を十分に抑制し、かつ、鋳型による鋳片の拘束を回避することで、高品質の鋳片を安定鋳造できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、

一对の短辺鋳型板と、前記一对の短辺鋳型板を挟み込む一对の長辺鋳型板とを備えた連続鋳造用鋳型において、

前記長辺鋳型板にはテーパが付与されており、前記長辺鋳型板のテーパ率 T_W [%/m] を下記式(1)で定義したとき、前記テーパ率 T_W は、下記式(2)を満たしており、前記短辺鋳型板の内側面には、鋳型外側に向けて膨らんだ湾曲凹部が形成されており、前記湾曲凹部は、前記長辺鋳型板のテーパによる前記短辺鋳型板の幅の収缩量に応じて、鋳型の下端に向かうほど深くなっている、連続鋳造用鋳型が提供される。

$$T_W = \{ (D_U - D_B) / D_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \dots (1)$$

$$(7000 / Z) \leq T_W \leq (40000 / Z) \quad \dots (2)$$

ここで、

D_U : メニスカス位置における前記短辺鋳型板の幅 [mm]

D_B : 前記鋳型の下端における前記短辺鋳型板の幅 [mm]

Z : 前記メニスカス位置から前記鋳型の下端までの距離 [mm]

である。

【0016】

前記メニスカス位置から前記鋳型の下端までの前記湾曲凹部の形状変化により生じる、前記短辺鋳型板の仮想的なテーパのテーパ率 T_V [%/m] を下記式(3)で定義したとき、前記テーパ率 T_V は、下記式(4)を満たすようにしてもよい。

$$T_V = \{ (L_U - L_B) / L_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \dots (3)$$

$$0 \leq T_V \leq 1.5 \quad \dots (4)$$

ここで、

L_U : 前記メニスカス位置における前記短辺鋳型板の内側面の前記湾曲凹部に沿った表面長 [mm]

L_B : 前記鋳型の下端における前記短辺鋳型板の内側面の前記湾曲凹部に沿った表面長 [mm]

Z : 前記メニスカス位置から前記鋳型の下端までの距離 [mm]

である。

【0017】

前記鋳型の下端における前記湾曲凹部の深さ d_B と、前記鋳型の下端における前記短辺鋳型板の幅 D_B は、下記式(5)を満たすようにしてもよい。

$$(d_B / D_B) \leq 0.5 \quad \dots (5)$$

【0018】

前記湾曲凹部の水平断面形状は、同一の曲率半径を有する3つの円弧部からなり、

前記3つの円弧部は、

前記湾曲凹部の中央に配置され、鋳型外側に向けて凸である1つの内側円弧部と、

前記内側円弧部の両側に配置され、鋳型内側に向けて凸である2つの外側円弧部と、を含むようにしてもよい。

【0019】

上記構成によれば、鋳型長辺に、上記式(1)で規定される強テーパを付与することにより、メニスカス位置において鋳型長辺と浸漬ノズルの間に広い隙間を確保できるので、Arガス気泡等の介在物の混入による鋳片の表面欠陥を十分に抑制できる。また、鋳型短

10

20

30

40

50

辺の収縮量に応じて鋳型下端に向かうほど深くなる湾曲凹部を鋳型短辺に形成することで、鋳型長辺の強テーパにより鋳型短辺の収縮量が大きくなったとしても、鋳型の上部と下部で、鋳型短辺の湾曲凹部の水平表面長をほぼ同一にすることができる。従って、鋳型による鋳片の拘束を抑制できるので、高品質の鋳片を安定鋳造することができる。

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように本発明によれば、メニスカス位置において鋳型長辺と浸漬ノズルの間に広い隙間を確保して、Arガス気泡等の介在物の混入による鋳片の品質劣化を十分に抑制できるとともに、鋳型による鋳片の拘束を回避できる。よって、高品質の鋳片を安定鋳造できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る連続鋳造装置の鋳型の周辺構成を示す横断面図である。

【図2】同実施形態に係る連続鋳造装置の鋳型の周辺構成を示す縦断面図である。

【図3】同実施形態に係る連続鋳造装置の鋳型の周辺構成を示す縦断面図である。

【図4】同実施形態に係る電磁攪拌装置を作動させた場合の鋳型上部の溶鋼の流れを示す説明図である。

【図5】同実施形態に係る電磁ブレーキ装置を作動させた場合の直流磁場を示す説明図である。

20

【図6】同実施形態に係る電磁ブレーキ装置を作動させた場合の直流磁場、誘導電流、対向流の流れを示す説明図である。

【図7】同実施形態に係るメニスカス位置における鋳型の横断面を示す模式図である。

【図8】同実施形態に係る鋳型を示す斜視図である。

【図9】同実施形態に係る鋳型の幅方向の縦断面図である。

【図10】同実施形態に係る鋳型の各高さ位置における短辺鋳型板の横断面図である。

【図11】同実施形態に係る湾曲凹部が形成された短辺鋳型板を示す横断面図である。

【図12】同実施形態の変更例に係る湾曲凹部が形成された短辺鋳型板を示す横断面図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0022】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0023】

〔1. 連続鋳造装置の構成〕

まず、本発明の第1の実施形態に係る連続鋳造用鋳型が適用される連続鋳造装置の構成について説明する。図1は、本実施形態に係る連続鋳造装置1の鋳型2の周辺構成を示す横断面図であり、図2及び図3は、本実施形態に係る連続鋳造装置1の鋳型2の周辺構成を示す縦断面図である。

40

【0024】

図1に示すように、連続鋳造装置1は、例えば水平断面が長方形の連続鋳造用鋳型2を備える。鋳型2は、一对の長辺鋳型板3、3と、一对の短辺鋳型板4、4とを備える。長辺鋳型板3は、内側に設けられた銅板3aと、外側に設けられたステンレス製ボックス3bから構成されている。同様に、短辺鋳型板4は、内側に設けられた銅板4aと、外側に設けられたステンレス製ボックス4bから構成されている。銅板3a及び銅板4aは、鋳型2の内側壁を構成し、鋳型2内に供給された溶融金属（溶鋼8）と接触して、該溶融金属を冷却する。このため、鋳型2には銅板3a、4aの冷却機構が設けられており、例えば、銅板3a、4a内部に冷却水を流通させることで、銅板3a、4aが水冷される。また、ステンレス製ボックス3b、4bは、銅板3a、4aの背面を支持する支持部材（バ

50

ックフレーム)として機能する。

【0025】

上記のような一对の長辺鋳型板3、3により一对の短辺鋳型板4、4を幅方向両側から挟み込むように組み立てることで、四角筒状の鋳型2が構成される。鋳型2の上面(溶鋼8の入口側)及び下面(鋳片5の出口側)は開放されている。短辺鋳型板4の幅(即ち、鋳型2の下端における長辺鋳型板3、3間の距離)は、鋳造される鋳片5の厚みにほぼ等しい。また、鋳型2下端における短辺鋳型板4、4間の距離は、該鋳片5の幅にほぼ等しい。本実施形態に係る長辺鋳型板3は、鋳型上端から下端にかけてテーパ率が増加しない1段テーパが付与されている。同様に、短辺鋳型板4は、鋳型上端から下端にかけてテーパ率が増加しない1段テーパが付与されている。しかし、かかる例に限定されず、長辺鋳型板3又は短辺鋳型板4には、鋳型上端から下端にかけてテーパ率が増加する多段テーパが付与されてもよい。

10

【0026】

また、本実施形態に係る連続鋳造装置1は、鋳片幅の異なる多サイズの鋳片を鋳造可能とするために、一对の短辺鋳型板4、4を鋳型幅方向(X方向)に移動させる鋳片幅可変機構(図示せず。)を備えている。この鋳片幅可変機構により、短辺鋳型板4、4を相互に接近/離隔させることで、1つの鋳型2を用いて、幅広から幅狭までの多様な幅の鋳片5を鋳造できる。

【0027】

この場合、鋳型2下端における短辺鋳型板4、4間の距離(鋳片5の幅に相当する。)は、例えば700~2500mmの範囲で可変である。また、短辺鋳型板4の幅(鋳片5の厚みに相当する。)は、例えば100mm~600mm、好ましくは220~300mmである。長辺鋳型板3に沿った水平方向(図1~図3中のX方向)を鋳型幅方向(長辺幅方向)又は鋳片幅方向と称し、短辺鋳型板4に沿った水平方向(図1~図3中のY方向)を鋳型厚み方向(短辺幅方向)又は鋳片厚み方向と称する。なお、本実施形態に係る短辺鋳型板4の内側面4cは、従来のような平坦面ではなく、鋳型外側に向けて膨らんだ湾曲凹部40が形成されているが、この湾曲凹部40の詳細については後述する。

20

【0028】

また、本実施形態に係る一对の長辺鋳型板3、3は、平板型の鋳型版で構成され、長辺鋳型板3の銅板3aの内側面3cは平坦面となっている。さらに、本実施形態に係る鋳型2では、一对の長辺鋳型板3、3に強テーパ(例えば、テーパ率:7~50%/m)が付与されている。これにより、鋳型上部のメニスカス12周辺で、長辺鋳型板3の内側面3cを浸漬ノズル6から鋳型厚み方向外側に離隔させて、長辺鋳型板3の内側面3cと浸漬ノズル6との間に、図1に示すように十分に広い隙間7が確保される。

30

【0029】

また、鋳型2内の上部には、図2及び図3に示すように、円筒状の浸漬ノズル6が設けられ、浸漬ノズル6の下部は、鋳型2内の溶鋼8に浸漬している。この浸漬ノズル6の下端近傍の短辺鋳型板4、4側には、2つの吐出孔9、9が形成されている。この吐出孔9、9は、鋳型2内において短辺鋳型板4、4に向けて斜め下向きに溶鋼8を吐出する。吐出孔9から吐出される吐出流10には、浸漬ノズル6内を洗浄するために吹き込まれるArガス気泡11などの介在物が含まれている。

40

【0030】

また、鋳型2の長辺鋳型板3のステンレス製ボックス3b内には、メニスカス12近傍に、図1~図3に示すように一对の電磁攪拌装置20、20が設けられている。電磁攪拌装置20は、ステンレス製ボックス3bの側面と平行に配置されている。該電磁攪拌装置20は、例えば電磁攪拌コイルなどで構成され、鋳型2内におけるメニスカス12近傍の溶鋼8に電磁力を付与して、該溶鋼8を電磁的に攪拌する。この電磁攪拌装置20の電磁攪拌により、図4に示すように鋳型2内のメニスカス12近傍の溶鋼8を水平面内で回転させて、攪拌流21を形成することができる。ここで、長辺鋳型板3に上記強テーパを付与したことにより、長辺鋳型板3と浸漬ノズル6の間に広い隙間7が形成されている。こ

50

のため、長辺鋳型板 3 と浸漬ノズル 6 間の流れが停滞することなく、攪拌流 2 1 は、長辺鋳型板 3 及び短辺鋳型板 4 に沿って浸漬ノズル 6 の回りを旋回する。

【0031】

さらに、電磁攪拌装置 2 0 の下方であって、鋳型 2 の長辺鋳型板 3 の外側には、図 2、図 3、図 5 及び図 6 に示すように一对の電磁ブレーキ装置 2 2、2 2 が設けられている。該電磁ブレーキ装置 2 2 の中心線位置（最大磁束密度の位置）は、浸漬ノズル 6 の吐出孔 9 の下方に位置している。電磁ブレーキ装置 2 2 は、例えば電磁石などで構成され、浸漬ノズル 6 から吐出される溶鋼 8 の流れを電磁的に抑制する。

【0032】

詳細には、電磁ブレーキ装置 2 2 は、図 5 及び図 6 に示すように、吐出孔 9 から吐出した直後の溶鋼 8 の吐出流 1 0 に対して、直流磁界 2 3 を、鋳型 2 の短辺鋳型板 4 に沿った鋳型厚み方向（図 5 中の Y 方向）に付与する。該直流磁界 2 3 は、鋳型 2 の長辺鋳型板 3 に沿った鋳型幅方向（図 5 中の X 方向）に亘ってほぼ一様な磁束密度分布を有する。この直流磁界 2 3 と吐出孔 9 から吐出した溶鋼 8 の吐出流 1 0 によって、図 6 に示すように、鋳型 2 の長辺鋳型板 3 に沿った鋳型幅方向（図 6 中の X 方向）に誘導電流 2 4 が発生し、この誘導電流 2 4 と直流磁界 2 3 によって、吐出流 1 0 の近傍に該吐出流 1 0 と逆向きの対向流 2 5 が形成される。対向流 2 5 は、吐出流 1 0 の吐出角度とほぼ同じ角度で浸漬ノズル 6 に衝突して、浸漬ノズル 6 に沿ってメニスカス 1 2 まで上昇する。

【0033】

本実施形態に係る連続鋳造装置 1 は以上のように構成されており、次にこの連続鋳造装置 1 を用いた連続鋳造方法について説明する。

【0034】

まず、浸漬ノズル 6 によって、不図示のタンディッシュの溶鋼 8 を鋳型 2 内に供給する。このとき、浸漬ノズル 6 の詰まりを防止するために浸漬ノズル 6 内に Ar ガスを吹き込みながら、浸漬ノズル 6 の吐出孔 9 から鋳型 2 内に溶鋼 8 を吐出する。溶鋼 8 は吐出孔 9 から斜め下方に吐出され、吐出孔 9 から鋳型 2 の短辺鋳型板 4 に向かって吐出流 1 0 が形成される。吐出流 1 0 には Ar ガス気泡 1 1 が含まれており、Ar ガス気泡 1 1 は、鋳型 2 内の溶鋼 8 中に浮遊する。

【0035】

浸漬ノズル 6 から溶鋼 8 を吐出すると同時に、電磁ブレーキ装置 2 2 を作動させる。この電磁ブレーキ装置 2 2 によって、吐出流 1 0 と逆向きの対向流 2 5 が形成される。この対向流 2 5 は、浸漬ノズル 6 に衝突して、メニスカス 1 2 付近まで上昇する。そして、溶鋼 8 中に浮遊している Ar ガス気泡 1 1 が、対向流 2 5 に乗ってメニスカス 1 2 近傍まで浮上する。このように、電磁ブレーキ装置 2 2 によって吐出流 1 0 と逆向きの対向流 2 5 を形成することによって、吐出流 1 0 中の Ar ガス気泡 1 1 が鋳型 2 内の溶鋼 8 に深く進入しなくなる。その結果、鋳片 5 の内部に含まれる Ar ガス気泡 1 1 を減少させることができる。

【0036】

さらに、上述の電磁ブレーキ装置 2 2 の作動と同時に、電磁攪拌装置 2 0 も作動させる。この電磁攪拌装置 2 0 の電磁攪拌により、鋳型 2 内のメニスカス 1 2 近傍の溶鋼 8 に攪拌流 2 1 が形成される。そして、対向流 2 5 に乗ってメニスカス 1 2 近傍まで浮上した Ar ガス気泡 1 1 は、攪拌流 2 1 によって旋回し、鋳型 2 内に形成された凝固シェル 3 0 に捕捉されることなく、例えば溶融酸化物を有する連続鋳造パウダー（図示せず。）に取り込まれて除去される。

【0037】

このように Ar ガス気泡 1 1 が除去された溶鋼 8 は、その後、凝固して鋳片 5 に鋳造される。詳細には、連続鋳造中は鋳型 2 の内側面（即ち、長辺鋳型板 3 の銅板 3 a や短辺鋳型板 4 の銅板 4 a）は冷却されている。このため、上記溶鋼 8 が当該冷却された銅板 3 a、4 a 近傍に達すると、溶鋼 8 から鋳型 2 に抜熱される。この結果、図 2 及び図 3 に示すように、鋳型 2 に接する溶鋼 8 の外周部分が凝固して、凝固シェル 3 0 が形成される。そ

10

20

30

40

50

して、鑄型 2 の下方に設けられた不図示のピンチロール等により、先に鑄造された鑄片 5 が下方に引き抜かれているので、これに伴い、鑄型 2 内で凝固シェル 30 が下方に移動しつつ、その内部の溶鋼 8 の凝固が進行し、凝固シェル 30 が徐々に厚くなる。そして、鑄型 2 から引き抜かれた鑄片 5 は、鑄型 2 下方の二次冷却帯で冷却されることで、内部の溶鋼 8 が完全に凝固する。このようにして、連続鑄造装置 1 を用いて、所望の鑄片幅及び厚みの鑄片が連続的に鑄造される。

【0038】

〔2. 鑄型長辺と浸漬ノズルの隙間の広さ〕

次に、図 7 を参照して、本実施形態に係る長辺鑄型板 3 と浸漬ノズル 6 との間の隙間 7 の広さについて詳述する。

10

【0039】

本実施形態に係る鑄型 2 では、上記のように、長辺鑄型板 3、3 間の距離が鑄型上端から鑄型下端に向かって次第に小さくなるように長辺鑄型板 3、3 に強テーパが付与されている。これにより、鑄型 2 の下端においては、鑄片 5 の所望の厚み（例えば 240 mm）に合わせて、長辺鑄型板 3、3 間の Y 方向の距離（即ち、短辺鑄型板 4 の幅）を狭くできる。一方、鑄型 2 の上部においては、長辺鑄型板 3、3 間の Y 方向の距離を、上記鑄片 5 の所望の厚みよりも広く（例えば 360 mm 程度）することができる。従って、鑄型 2 の上部のメニスカス 12 周辺で、長辺鑄型板 3、3 と浸漬ノズル 6 との間に広い隙間 7 を確保することができる。

【0040】

20

図 7 は、メニスカス位置における鑄型の横断面を示す模式図である。図 7（a）は、鑄型長辺に強テーパが付与されていない従来の平板型鑄型 2 A を示し、図 7（b）は、鑄型長辺に湾曲部 5 B が形成された従来のファンネル形鑄型 2 B を示し、図 7（c）は、鑄型長辺に強テーパが付与された本実施形態に係る平板型鑄型 2 を示す。

【0041】

図 7（a）に示すように、従来の平板型鑄型 2 A では、長辺鑄型板 3 A、3 A にテーパが付与されていない、或いは弱テーパ（テーパ率：1.5 %/m 以下）が付与されているだけである。このため、比較的厚みが薄い鑄片 5 を鑄造するときには、メニスカス位置における長辺鑄型板 3 A、3 A 間の距離 L_{2A} が小さくなるため、長辺鑄型板 3 A と浸漬ノズル 6 A が近接し、両者間の隙間 7 A の鑄型厚み方向（Y 方向）の大きさ L_{1A} が非常に狭くなる。この結果、当該狭い隙間 7 A を通じた溶鋼の流動が阻害され、溶鋼中の Ar ガス気泡が拡散できる領域が狭くなるため、長辺鑄型板 3 A の内側面近傍に形成された凝固シェルに Ar ガス気泡が捕捉されて、鑄片の表面欠陥を引き起こしてしまう。

30

【0042】

また、図 7（b）に示すように、従来のファンネル形鑄型 2 B では、メニスカス位置及びその周辺において、長辺鑄型板 3 B の鑄型幅方向の中央部に、鑄型外側に向けて膨らんだ湾曲部 5 B が形成されている。この湾曲部 5 B を設けることにより、長辺鑄型板 3 A、3 A 間の距離 L_{2B} が小さい場合であっても、浸漬ノズル 6 B の周辺では、上記従来の平板型鑄型 2 A の場合よりも、浸漬ノズル 6 B と長辺鑄型板 3 B との隙間 7 B を広くして、該隙間 7 B の鑄型厚み方向（Y 方向）の大きさ L_{1B} を大きくすることができる。しかし、このファンネル形鑄型 2 B では、長辺鑄型板 3 B における湾曲部 5 B の鑄型幅方向（X 方向）の形成範囲が、該鑄型 2 B で鑄造される鑄片の最小幅に制限される。このため、幅広の鑄片の鑄造時には湾曲部 5 B の形成範囲が不十分となり、上記 Ar ガス気泡が凝固シェルに捕捉されて、鑄片の表面欠陥を引き起こす場合があった。

40

【0043】

これに対して、図 7（c）に示すように、本実施形態に係る平板型鑄型 2 では、一對の長辺鑄型板 3、3 に強テーパ（例えば、テーパ率：7～50 %/m）を付与することにより、浸漬ノズル 6 と長辺鑄型板 3 との間に、鑄型幅方向（X 方向）にも十分に広い隙間 7 を確保できている。

【0044】

50

つまり、上記長辺鋳型板 3、3 に強テーパを付与することで、メニスカス位置における長辺鋳型板 3、3 間の距離 L_2 を十分に大きくできる。このため、鋳型上部のメニスカス位置で、長辺鋳型板 3 を浸漬ノズル 6 から鋳型厚み方向外側に離隔させて、長辺鋳型板 3 の内側面 3 c と浸漬ノズル 6 との間に、鋳型厚み方向（Y 方向）及び鋳型幅方向（X 方向）に十分に広い隙間 7 を形成できる。この隙間 7 の鋳型厚み方向（Y 方向）の大きさ L_1 が、上記ファンネル形鋳型 2 B の湾曲部 5 B により形成される隙間 7 B の大きさ L_{1B} と同等か、若しくはそれ以上になるように（ $L_1 \geq L_{1B}$ ）、長辺鋳型板 3、3 の強テーパのテーパ率 T_w が調整される。

【0045】

なお、Ar ガス気泡 11 が凝固シェル 30 に捕捉されない隙間 7 を確保するという観点から、隙間 7 の鋳型厚み方向（Y 方向）の大きさ L_1 （長辺鋳型板 3 の内側面 3 c と浸漬ノズル 6 間の水平距離）は、所定の距離範囲（例えば 35 mm～100 mm）とすることが好ましい。当該水平距離 L_1 が 35 mm 未満であると、隙間 7 において溶鋼 8 が流れ難くなり、溶鋼 8 中の Ar ガス気泡 11 が凝固シェルに捕捉され易くなる。また、水平距離 L_1 が 100 mm 以上であると、凝固シェル 30 が鋳型 2 に拘束されやすくなる。

【0046】

以上のように、本実施形態では、長辺鋳型板 3、3 に強テーパを付与することで、メニスカス位置における長辺鋳型板 3 と浸漬ノズル 6 との隙間 7 を、鋳型厚み方向（Y 方向）に広くできるだけでなく、鋳型幅方向（X 方向）にも十分に広い範囲に隙間 7 を形成できる。従って、従来のファンネル形鋳型 2 B よりも、浸漬ノズル 6 に沿って上昇する溶鋼 8 中の Ar ガス気泡 11 が拡散できる領域を広くできる。そして、この広い隙間 7 により、長辺鋳型板 3 と浸漬ノズル 6 の間に上記水平距離 L_1 が確保されるため、対向流 25 に乗って浸漬ノズル 6 に沿って上昇する Ar ガス気泡 11 が拡散しても、Ar ガス気泡 11 はメニスカス 12 まで浮上できる。従って、Ar ガス気泡 11 が長辺鋳型板 3 の凝固シェル 30 に捕捉されるのを抑制できる。また、隙間 7 により上記水平距離 L_1 を大きく確保できるため、この隙間 7 において、電磁攪拌装置 20 により形成される攪拌流 21 が流れ易くなる。そうすると、鋳型 2 の上部において Ar ガス気泡 11 が攪拌され、凝固シェル 30 に捕捉されることをさらに抑制できる。

【0047】

また、鋳型 2 で鋳造される鋳片 5 の幅を変更するため、鋳片幅可変機構により短辺鋳型板 4、4 を鋳型幅方向（X 方向）に移動させる場合であっても、該長辺鋳型板 3 の X 方向の位置に関わらず、隙間 7 の大きさ（水平距離 L_1 ）は変わらない。よって、1 つの鋳型 2 で幅狭から幅広までの任意のサイズの鋳片 5 を鋳造する場合においても、長辺鋳型板 3 の全幅に渡って上記隙間 7 の大きさ（水平距離 L_1 ）を広く確保でき、該全幅に渡って Ar ガス気泡 11 が凝固シェル 30 に補足されることを抑制できる。

【0048】

以上のように本実施形態に係る鋳型 2 によれば、従来の平板型鋳型 2 A やファンネル形鋳型 2 B と比べて、Ar ガス気泡 11 が凝固シェル 30 に捕捉されることを抑制できるので、鋳片 5 に含まれる Ar ガス気泡 11 を減少させることができる。よって、Ar ガス気泡 11 に起因した鋳片 5 の強度低下や表面欠陥を抑制できるので、鋳片 5 の品質を更に向上させることができる。

【0049】

[3. 鋳型長辺の強テーパに応じた鋳型短辺の構造]

次に、図 8 を参照して、本実施形態に係る鋳型 2 において、長辺鋳型板 3、3 の強テーパに合わせて、短辺鋳型板 4 に湾曲凹部 40 が設けられた構造について詳細に説明する。図 8 は、本実施形態に係る鋳型 2 を示す斜視図である。なお、説明の便宜上、図 8 では、一方の長辺鋳型板 3 及び短辺鋳型板 4 の図示を省略してある。

【0050】

[3. 1. 鋳型短辺の湾曲凹部の概要]

まず、本実施形態に係る短辺鋳型板 4 に設けられる湾曲凹部 40 の概要について説明す

10

20

30

40

50

る。

【0051】

上述したように、鋳型内の鋳片（凝固シェル）は、鋳型下方（Z方向）に向けて移動するにつれて幅方向（X方向）及び厚み方向（Y方向）に収縮する。この際、鋳片の幅方向（X方向）の収縮量は、厚み方向（Y方向）の収縮量に比べて大きい。従って、一般的な鋳型では、鋳片の幅方向の収縮に合わせて短辺鋳型板にテーパを付与し、鋳型下端における凝固シェルと短辺鋳型板との接触性を向上させている。一方、鋳片の厚み方向に関しては、長辺面が短辺面に比べて大きいので、凝固シェルと鋳型の接触面積が大きくなり接触力も大きくなるので、一般的には長辺鋳型板にテーパを付与しないか、或いは、テーパ率が1.5%/m以下の弱テーパを付与している。

10

【0052】

これに対し、本実施形態に係る鋳型2では、上記のように、メニスカス位置における長辺鋳型板3と浸漬ノズル6の隙間7を広く確保するため、長辺鋳型板3に、例えばテーパ率7~50%/m、好ましくは20~50%/mの強テーパを付与している。

【0053】

ところが、このように長辺鋳型板3に強テーパを付与するためには、鋳型下方に向かうにつれて、一对の長辺鋳型板3、3間の距離が急激に狭まるため、短辺鋳型板4がその幅方向に大きく収縮する構造にする必要がある。この結果、鋳型下方に向かうにつれて、短辺鋳型板4の幅方向の収縮量が、鋳片5の厚み方向の収縮量よりも過大になる。従って、鋳型下部側において、一对の長辺鋳型板3、3により鋳片5が厚み方向に拘束されてしまい、鋳型下端から鋳片5を引き抜けなくなるなど、安定鋳造が阻害されてしまう。

20

【0054】

そこで、本実施形態に係る鋳型2では、図8に示すように、長辺鋳型板3、3により鋳片5が厚み方向に拘束されてしまうことを防止するため、短辺鋳型板4の内側面4cに、湾曲凹部40を形成している。この湾曲凹部40は、鋳型幅方向外側に向けて膨らむような湾曲面で構成され、湾曲凹部40の水平断面形状は、湾曲線（1又は2以上の円弧又は楕円弧など）からなる。そして、該湾曲凹部40は、上記長辺鋳型板3の強テーパによる短辺鋳型板4の幅の収縮量に応じて、鋳型下方に向かうほど深くなるように形成される。

【0055】

この短辺鋳型板4の湾曲凹部40の膨らみ量（鋳型幅方向の凹部深さd）は、メニスカス位置から鋳型下端に向かうにつれて徐々に増加し、鋳型下端では最大となる（図10参照。）。なお、メニスカス位置では、短辺鋳型板4の内側面4cに湾曲凹部40を形成せずに、該内側面4cを平坦面とし、メニスカス位置よりも下方の任意の位置から鋳型下端までの範囲に湾曲凹部40を形成してもよい。

30

【0056】

上記のような湾曲凹部40を短辺鋳型板4の内側面4cに設けることで、短辺鋳型板4の湾曲凹部40の膨らみの分だけ、短辺鋳型板4の湾曲凹部40の水平表面長（後述の短辺表面長 L_U 、 L_B ）を長くできる。そして、この湾曲凹部40を鋳型下端に向かうほど徐々に深くなるようにすれば、鋳型上部と下部の間に湾曲凹部40の水平表面長（後述の短辺表面長 L_U 、 L_B ）をほぼ同一にすることができる。従って、仮想的なテーパのテーパ率 T_v を小さく設定することが出来る。

40

【0057】

かかる湾曲凹部40により、上記長辺鋳型板3、3の強テーパに伴う短辺鋳型板4、4の幅の急激な収縮量を緩和し、長辺鋳型板3、3により厚み方向に拘束される鋳片5が、幅方向の両側の短辺鋳型板4、4の湾曲凹部40、40に逃げる事ができる。従って、鋳型2の下部において、強テーパの長辺鋳型板3、3により鋳片5が拘束されることを抑制できる。かかる長辺鋳型板3、3の強テーパと湾曲凹部40の形状の詳細については、後述する。

【0058】

[3.2.用語の定義]

50

次に、図 8～図 10 を参照して、以下の説明で用いる用語を定義する。図 9 は、本実施形態に係る鋳型 2 の幅方向の縦断面図である。図 10 は、本実施形態に係る鋳型 2 の各高さ位置における短辺鋳型板 4 の横断面図である。

【0059】

メニスカス位置とは、鋳型 2 内における溶融金属（例えば溶鋼 8）のメニスカス 12（湯面）の高さ位置である。

メニスカス高さ Z とは、メニスカス位置から鋳型 2 の下端までの鉛直距離である。

鋳造方向とは、鋳型 2 から鋳片 5 を引き抜く方向であり、例えば鉛直下方（ Z 方向）である。鋳型幅方向とは、長辺鋳型板 3 に沿った水平方向（ X 方向）である。また、鋳型厚み方向とは、短辺鋳型板 4 に沿った水平方向（ Y 方向）である。鋳型幅方向は鋳型厚み方向に対して垂直である。

メニスカス長辺幅 W_U とは、メニスカス位置における一对の短辺鋳型板 4、4 間の水平距離（メニスカス位置における長辺鋳型板 3 の水平幅）である。

鋳型下端長辺幅 W_B とは、鋳型 2 の下端における一对の短辺鋳型板 4、4 間の水平距離（鋳型 2 の下端における長辺鋳型板 3 の水平幅）である。該鋳型下端長辺幅 W_B は、鋳型 2 で鋳造される鋳片 5 の幅 W にほぼ等しい。

【0060】

短辺幅 D とは、鋳型 2 のある高さ位置における一对の長辺鋳型板 3、3 間の水平距離（即ち、短辺鋳型板 4 の Y 方向の水平幅）である。

メニスカス短辺幅 D_U とは、メニスカス位置における一对の長辺鋳型板 3、3 間の水平距離（即ち、メニスカス位置における短辺鋳型板 4 の水平幅）である。

鋳型下端短辺幅 D_B とは、鋳型 2 の下端における一对の長辺鋳型板 3、3 間の水平距離（即ち、鋳型 2 の下端における短辺鋳型板 4 の水平幅）である。該鋳型下端短辺幅 W_B は、鋳型 2 で鋳造される鋳片 5 の厚みにほぼ等しい。

短辺幅の鋳造方向の収缩量 ΔD とは、メニスカス短辺幅 D_U と鋳型下端短辺幅 D_B の差分である（ $\Delta D = (D_U - D_B)$ ）。

【0061】

凹部深さ d とは、鋳型幅方向（ X 方向）外側に向けて膨らんだ湾曲凹部 40 の深さであり、該湾曲凹部 40 の底部 40a と頂部 40b との間の X 方向の最短水平距離に相当する。例えば、湾曲凹部 40 の底部 40a は、短辺鋳型板 4 の幅方向（ Y 方向）の中心に位置し、湾曲凹部 40 の頂部 40b は、短辺鋳型板 4 の幅方向（ Y 方向）の両端に位置する。この凹部深さ d は、短辺鋳型板 4 の内側面 4c に、凹形状の湾曲面からなる湾曲凹部 40 を形成する際の削り込み量に相当する（図 8 参照。）。

メニスカス凹部深さ d_U とは、メニスカス位置における凹部深さ d である。

鋳型下端凹部深さ d_B とは、鋳型 2 の下端における凹部深さ d である。

【0062】

曲率半径 R は、鋳型 2 のある高さ位置における湾曲凹部 40 の水平断面形状の曲率である。

曲率半径 R_U とは、メニスカス位置における曲率半径 R である。

曲率半径 R_B とは、鋳型 2 の下端における曲率半径 R である。

【0063】

短辺表面長 L とは、鋳型 2 のある高さ位置における短辺鋳型板 4 の内側面 4c の水平表面長（湾曲凹部 40 に沿った水平湾曲線の線長）である。

メニスカス短辺表面長 L_U とは、メニスカス位置における短辺鋳型板 4 の内側面 4c の水平表面長（湾曲凹部 40 に沿った水平湾曲線の線長）である。このメニスカス短辺表面長 L_U は、湾曲凹部 40 が湾曲している分だけ、上記メニスカス短辺幅 D_U よりも長い（ $L_U > D_U$ ）。ただし、メニスカス位置において、湾曲凹部 40 が形成されておらず、短辺鋳型板 4 の内側面 4c が平坦面である場合には、 $L_U = D_U$ となる。

鋳型下端短辺表面長 L_B とは、鋳型 2 の下端における前記短辺鋳型板 4 の内側面 4c の水平表面長（湾曲凹部 40 に沿った水平湾曲線の線長）である。この鋳型下端短辺表面長

10

20

30

40

50

L_B も、湾曲凹部 40 が湾曲している分だけ、上記鑄型下端短辺幅 D_B よりも長い ($L_B > D_B$)。かかる鑄型下端短辺表面長 L_B と鑄型下端短辺幅 D_B の差 ($L_B - D_B$) は、短辺鑄型板 4 の湾曲凹部 40 の凹形状を、長辺鑄型板 3、3 のテーパ率に換算したときの指標となる。

【0064】

長辺テーパ率 T_W とは、テーパが付与された一对の長辺鑄型板 3、3 のテーパ率である。

短辺仮想テーパ率 T_V とは、メニスカス位置から鑄型 2 の下端までの湾曲凹部 40 の形状変化により生じる、短辺鑄型板 4、4 の仮想的なテーパのテーパ率である。

【0065】

幅方向収縮量 C_X は、メニスカス位置から鑄型 2 の下端までの凝固シェル 30 の鑄型幅方向 (X 方向) の収縮量である。厚み方向収縮量 C_Y は、メニスカス位置から鑄型 2 の下端までの凝固シェル 30 の湾曲凹部 40 に沿った方向の収縮量である。

【0066】

[3. 3. 鑄型長辺のテーパ率]

次に、図 8～図 10 を参照して、本実施形態に係る長辺鑄型板 3、3 のテーパ率 T_W について説明する。

【0067】

本実施形態に係る鑄型 2 では、上記のように、メニスカス位置周辺において長辺鑄型板 3 と浸漬ノズル 6 との隙間 7 を広くするために、長辺鑄型板 3、3 に強テーパが付与されている (図 9 参照。)。この長辺鑄型板 3、3 に付与された強テーパのテーパ率、即ち、長辺テーパ率 T_W [%/m] は、以下の式 (1) で定義される。なお、式 (1) 中の D_U 、 D_B 、 Z の単位は全て [mm] である。

$$T_W = \{ (D_U - D_B) / D_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \dots (1)$$

【0068】

さらに、本実施形態に係る鑄型 2 において、長辺テーパ率 T_W [%/m] は、下記式 (2) を満たしている。例えば、メニスカス高さ $Z = 800$ mm であるとき、式 (2) は、式 (2A) となる。

$$(7000 / Z) \leq T_W \leq (40000 / Z) \quad \dots (2)$$

$$8.75 \% / m \leq T_W \leq 50 \% / m \quad \dots (2A)$$

【0069】

上記式 (2) 及び (2A) から分かるように、本実施形態に係る長辺テーパ率 T_W は、従来一般的な長辺テーパ率 (1.5 %/m 以下) と比べて、顕著に大きい。かかる強テーパを付与することにより、図 7 に示したように、メニスカス位置において、鑄型長辺の全幅に渡って、長辺鑄型板 3 と浸漬ノズル 6 と間に十分に広い隙間 7 を確保できるので、Ar ガス気泡 11 が凝固シェル 30 に混入することを防止できる。

【0070】

ここで、 T_W が $(7000 / Z)$ 未満であると、長辺鑄型板 3、3 のテーパが弱すぎるため、長辺鑄型板 3 と浸漬ノズル 6 との間に十分な広さの隙間 7 を確保できず、大量の Ar ガス気泡 11 が凝固シェル 30 に混入して、鑄片 5 に表面欠陥が生じてしまう。一方、 T_W が $(40000 / Z)$ 超であると、長辺鑄型板 3、3 のテーパが強すぎるため、鑄型 2 の下部側において鑄片 5 が長辺鑄型板 3、3 に拘束されてしまい、鑄型 2 から引き抜けなくなり、安定的な鑄造が困難又は不能になってしまう。従って、品質の良い鑄片 5 を安定的に鑄造する観点からは、 T_W は上記式 (2) を満たすことが好ましい。

【0071】

本実施形態に係る鑄型 2 では、上記式 (2) を満たす長辺テーパ率 T_W の強テーパが長辺鑄型板 3、3 に付与される。例えば、図 9 に示す $D_U = 360$ mm、 $D_B = 240$ mm、 $\Delta D = 120$ mm、 $Z = 800$ mm である場合、 $T_W = 41.7 \% / m$ となる。

【0072】

[3. 4. 湾曲凹部の形状]

10

20

30

40

50

次に、本実施形態に係る短辺鋳型板 4 の湾曲凹部 40 の形状について詳細に説明する。

【0073】

本実施形態に係る鋳型 2 では、図 8～図 9 に示すように、短辺鋳型板 4 の内側面 4c に、鋳型幅方向外側に向けて膨らんだ湾曲凹部 40 が形成されている。そして、長辺鋳型板 3、3 の強テーパによる短辺鋳型板 4 の幅の収縮量に応じて、鋳型 2 の下端に向かうほど、湾曲凹部 40 が深くなっている。

【0074】

ここで、図 10 を参照して、鋳造方向（Z）方向の湾曲凹部 40 の形状変化について説明する。図 10 は、図 9 の A-A 断面（鋳型上端）、B-B 断面（メニスカス位置）、C-C 断面（鋳型下端）における短辺鋳型板 4 の横断面図である。

10

【0075】

図 10 に示すように、鋳型 2 の上端では、短辺鋳型板 4 の内側面 4c に湾曲凹部 40 は形成されておらず、内側面 4c は平坦面となっている。これに対し、メニスカス位置では、短辺鋳型板 4 の内側面 4c に比較的浅い湾曲凹部 40U が形成されている。この湾曲凹部 40 は、メニスカス位置から鋳型下端（鋳造方向）に向かうにつれて徐々に、その幅（短辺幅 D）が狭くなりつつ、その深さ（凹部深さ d）が深くなる。そして、鋳型下端では、比較的深い湾曲凹部 40B が形成されている。

【0076】

鋳型下端の湾曲凹部 40B の幅（鋳型下端短辺幅 D_B ）は、メニスカス位置の湾曲凹部 40U の幅（メニスカス短辺幅 D_U ）よりも小さいが（ $D_B < D_U$ ）、鋳型下端の凹部深さ d_B は、メニスカス位置の凹部深さ d_U よりも大きい（ $d_B > d_U$ ）。このため、鋳型下端の湾曲凹部 40B の表面長（鋳型下端短辺表面長 L_B ）は、メニスカス位置の湾曲凹部 40U の表面長（メニスカス短辺表面長 L_U ）とほぼ同一である（ $L_B \approx L_U$ ）。

20

【0077】

以上のように、本実施形態では、鋳型長辺の強テーパによる短辺幅 D の急激な収縮に対処するため、鋳型下端に向かうほど次第に深くなる湾曲凹部 40 を、短辺鋳型板 4 の内側面 4c に形成している。これにより、短辺幅 D の収縮量を、湾曲凹部 40 の膨らみ量で補足し、メニスカス位置と鋳型下端の間で、短辺表面長 L をほぼ一定に保持することができる（ $L_B \approx L_U$ ）。

【0078】

従って、長辺鋳型板 3、3 の強テーパにより短辺幅 D の収縮量が急激となり、鋳型下端に向かうほど、凝固シェル 30 が鋳型厚み方向（Y 方向）に急激に圧縮されるとしても、該凝固シェル 30 の短辺部が、湾曲凹部 40 の湾曲形状に沿って膨らむように変形し、湾曲凹部 40 内に逃げることができる。従って、鋳片 5 が鋳型下端で過度に拘束されないようにできるので、鋳片 5 を鋳型 2 から円滑に引き抜くことができ、安定的な鋳造が可能になる。

30

【0079】

このような短辺鋳型板 4 の湾曲凹部 40 の鋳造方向の形状変化は、長辺鋳型板 3、3 の強テーパを緩和することができる。当該湾曲凹部 40 の鋳造方向の形状変化は、短辺仮想テーパ率 T_V で表される。短辺仮想テーパ率 T_V は、湾曲凹部 40 の鋳造方向の形状変化により短辺鋳型板 4、4 に生じる仮想的なテーパのテーパ率である。この短辺仮想テーパ率 T_V [%/mm] は、以下の式（3）で定義される。なお、式（3）中の L_U 、 L_B 、Z の単位は全て [mm] である。

40

$$T_V = \{ (L_U - L_B) / L_U \} * (1000 / Z) * 100 \quad \cdots (3)$$

【0080】

湾曲凹部 40 の鋳造方向の形状変化がない場合、例えば、鋳型短辺の内側面 4c の水平断面がメニスカス位置において直線であり、鋳型下端においても直線である場合、短辺表面長 L の鋳造方向の変化量 ΔL ($= L_U - L_B$) は、短辺幅 D の鋳造方向の収縮量 ΔD ($= D_U - D_B$) と同一になる。このため、式（3）の仮想テーパ率 T_V は T_W と同一になり、大きな値となる。一方、鋳型下端に向かうほど湾曲凹部 40 の凹部深さ d が深くなる

50

ように、湾曲凹部 40 の鑄造方向の形状変化を大きくした場合、 ΔL を ΔD よりも小さくすることができる。つまり、 $T_V < T_W$ にすることができる。従って、湾曲凹部 40 の鑄造方向の形状変化を制御することで、短辺仮想テーパ率 T_V を適切な範囲に調整できる。

【0081】

そこで、本実施形態では、上記知見に基づき湾曲凹部 40 の鑄造方向の形状を適切に設計することで、短辺仮想テーパ率 T_V [%/m] が下記式 (4) を満たすようにしている。

$$0 \leq T_V \leq 1.5 \quad \dots (4)$$

【0082】

T_V が上記式 (4) を満たすことにより、鑄型下端において鑄片 5 が鑄型 2 に拘束されず、かつ、鑄型下端において、隙間が空かないように長辺鑄型板 3 及び短辺鑄型板 4 と鑄片 5 との接触性を向上させ、長辺鑄型板 3 で鑄片 5 を適切に支持できる。これに対し、 T_V が 1.5 %/m 超であると、 L_U と L_B の差分で形成される短辺仮想テーパが強すぎるため、鑄片 5 が鑄型 2 に拘束されてしまう。一方、 T_V が 0 %/m 未満であると、長辺鑄型板 3 及び短辺鑄型板 4 と鑄片 5 との接触性が低下し、適切な鑄造が阻害されてしまう。

【0083】

ここで、 $T_V = 0$ であることは、メニスカス短辺表面長 L_U と鑄型下端短辺表面長 L_B が同一あることを意味し、 $0 < T_V \leq 1.5$ であることは、 L_U と L_B がほぼ等しいことを意味する。

【0084】

本実施形態では、長辺鑄型板 3、3 の強テーパによる短辺幅 D の収缩量 ΔD を緩和するために、鑄型下端に向かうほど湾曲凹部 40 を深くして、 L_U と L_B をほぼ等しい長さにしている。ところで、鑄型 2 内の凝固シェル 30 の短辺部は、鑄型下端に向かうほど短辺の湾曲凹部 40 に沿って収縮するが、この凝固シェル 30 の短辺部の収缩量 C_Y を考慮しなければ、 $L_U = L_B$ となるように湾曲凹部 40 の形状を設計すればよい。ただし、実際には凝固シェル 30 の短辺部は湾曲凹部 40 に沿って収縮するので、 $L_U = L_B$ としてしまうと、鑄型下端付近において凝固シェル 30 と長辺鑄型板 3 及び短辺鑄型板 4 との接触性が低下する。

【0085】

そこで、凝固シェル 30 の短辺部の湾曲凹部 40 に沿う収缩量 C_Y の分だけ、 L_U が L_B よりも若干長くなるように、湾曲凹部 40 を形成することが好ましい ($L_U = L_B + C_Y$)。これにより、凝固シェル 30 の鑄型厚み方向の収缩量 C_Y を考慮して、 L_U と L_B の関係を適切に設定できる。従って、鑄型 2 の下端における鑄型 2 と凝固シェル 30 の接触性を向上しつつ、鑄型 2 による鑄片 5 の拘束抑制効果をより高めることができる。

【0086】

次に、図 10 を参照して、本実施形態に係る湾曲凹部 40 の深さ (凹部深さ d) について説明する。

【0087】

鑄型 2 の下端における湾曲凹部 40 の深さ (鑄型下端凹部深さ d_B) と、鑄型 2 の下端における短辺鑄型板 4 の幅 (鑄型下端短辺幅 D_B) は、下記式 (5) を満たすことが好ましい。

$$(d_B / D_B) \leq 0.5 \quad \dots (5)$$

【0088】

湾曲凹部 40 を湾曲面で形成する際、上記式 (5) を満たせば、鑄型下端における湾曲凹部 40 B の湾曲面の水平断面を、 D_B 以上の直径を有する円弧で構成することができる。これにより、鑄型下端における湾曲凹部 40 B の湾曲面の曲率半径 R_B を、 $(D_B / 2)$ 以上の緩い曲率にすることができる。従って、凝固シェル 30 の鑄型幅方向両端の短辺部が湾曲凹部 40 B の湾曲面に沿って円滑に変形して、湾曲凹部 40 B 内に入り込むことができる。よって、該凝固シェル 30 の短辺部が短辺鑄型板 4 から受ける歪みが略均一になり、当該短辺部が略均一に変形するので、鑄片 5 が鑄型 2 に拘束されず、安定鑄造が可

10

20

30

40

50

能となる。

【0089】

これに対し、 $(d_B / D_B) > 0.5$ である場合には、湾曲凹部40Bの水平断面を円弧ではなく、 $(D_B / 2)$ よりも曲率が小さい楕円弧等で形成することになる。この場合、湾曲凹部40Bに入り込んだ凝固シェル30の短辺部の曲率が、鋳片厚み方向（Y方向）の位置によって、異なることになるので、該凝固シェル30の短辺部が短辺鋳型板4から受ける歪みに偏りが生じてしまう。このため、湾曲凹部40B内で該凝固シェル30の短辺部が均一に変形しなくなるので、鋳片5が鋳型2に拘束されやすくなり、安定鋳造が阻害されてしまう。

【0090】

[3.5.湾曲凹部の湾曲面の形状]

次に、図11及び図12を参照して、本実施形態に係る湾曲凹部40の湾曲面の形状について説明する。図11は、本実施形態に係る湾曲凹部40が形成された短辺鋳型板4を示す横断面図である。

【0091】

図11の上図に示すように、短辺鋳型板4に形成された湾曲凹部40は、全体として、内側面4cから鋳型外側（鋳型厚み方向外側）に向けて膨らんだ水平断面形状を有し、底部40aにて最大深さとなる。この湾曲凹部40の水平断面形状は、曲率半径Rを有する1つの円弧部50から構成される。

【0092】

円弧部50は、鋳型幅方向（X方向）外側に向けて凸となる円弧からなる。この円弧部50の鋳型厚み方向の中心が底部40aであり、円弧部50は、当該底部40aを中心として鋳型厚み方向（Y方向）に対称な形状を有する。円弧部50の両端は、短辺鋳型板4の端面4dに対して接続されている。また、円弧部50は、仮想円60（中心O、半径R）の円周の一部を構成し、円弧部50の中心角（ $= 2\theta$ ）は、 180° 以下である。

【0093】

また、図11の上図はメニスカス位置での湾曲凹部40の水平断面形状を表しているが、図8等にしたように、湾曲凹部40は、鋳型2の高さ方向（Z方向）に連続形成されている。メニスカス位置と鋳型下端の間の任意の高さ位置で湾曲凹部40を水平に切断したとしても、上記と同様に、湾曲凹部40の水平断面形状は、1つの円弧部50から構成される。ただし、鋳型上部から鋳型下端に向かうにつれて、湾曲凹部40の幅（短辺幅D）が小さくなるとともに、湾曲凹部40の深さd（膨らみ量）が大きくなり、上記円弧部50の曲率半径Rが小さくなる。この結果、図11の下図に示すように、鋳型下端において、湾曲凹部40の深さdが最大値（ d_B ）、円弧部50の曲率半径Rが最小値 R_B となる。一方、メニスカス位置よりも上方の鋳型上部において、湾曲凹部40の深さdがゼロ、円弧部50の曲率半径Rが無限大となり、短辺鋳型板4の内側面4cの水平断面形状は一直線状となる。

【0094】

以上のように、本実施形態に係る湾曲凹部40の水平断面形状は、1つの円弧部50からなる。そして、鋳型2の下端における円弧部50の半径 R_B と、鋳型2の下端における短辺鋳型板4の幅（鋳型下端短辺幅） D_B は、下記式（6）を満たしている。

$$2R_B \geq D_B \quad \cdots (6)$$

【0095】

上記式（6）を満たすことにより、図11の下図に示すように、短辺幅Dが最小値 D_B となる鋳型下端において、必要な大きさの凹部深さ d_B を確保しつつ、湾曲凹部40Bの湾曲面の水平断面形状を、半径が $(D_B / 2)$ 以上の円弧のみで構成することができる。

【0096】

一方、上記式（6）を満たさず、 $2R_B < D_B$ である場合には、湾曲凹部40Bの水平断面形状を、半径 R_B の円弧部50と、その両側の直線部との組合せにする必要がある。このため、湾曲凹部40Bの水平断面形状を滑らかな湾曲線のみで形成することができず

10

20

30

40

50

、円弧部 50 と直線部の接点で角部が発生する。従って、この角部により、凝固シェル 30 の短辺部が破断したり、湾曲凹部 40 B に沿って円滑に変形しなくなったりするという問題がある。また、湾曲凹部 40 B の円弧部 50 の曲率が小さすぎるので、湾曲凹部 40 B 内に入り込んだ凝固シェル 30 の短辺部が鋳型 2 から受ける歪みに偏りが生じ、該凝固シェル 30 の短辺部が均一に変形しなくなるので、鋳片 5 が鋳型に拘束されやすくなってしまう。

【0097】

従って、上記式 (6) を満たすように湾曲凹部 40 を形成することで、湾曲凹部 40 B 内に入り込んだ凝固シェル 30 の短辺部が鋳型 2 から受ける歪みを均一にし、該凝固シェル 30 の短辺部を均一に変形させることができる。従って、鋳片 5 が鋳型に拘束されることを適切に抑制して、安定鋳造を実現できる。

10

【0098】

次に、本実施形態の変更例に係る湾曲凹部 40 の形状について説明する。図 12 は、本実施形態の変更例に係る湾曲凹部 40 が形成された短辺鋳型板 4 を示す横断面図である。

【0099】

図 12 に示すように、短辺鋳型板 4 に形成された湾曲凹部 40 は、全体として、内側面 4 c から鋳型厚み方向 (X 方向) 外側に向けて膨らんだ水平断面形状を有し、底部 40 a にて最大深さとなる。この湾曲凹部 40 の水平断面形状は、同一の曲率半径 R を有する 3 つの円弧部 (即ち、1 つの内側円弧部 51 及び 2 つの外側円弧部 52、52) から構成される。

20

【0100】

内側円弧部 51 は、湾曲凹部 40 の鋳型厚み方向 (Y 方向) の中央に配置され、鋳型幅方向 (X 方向) 外側に向けて凸となる円弧からなる。この内側円弧部 51 の鋳型厚み方向の中心が底部 40 a であり、内側円弧部 51 は、当該底部 40 a を中心として鋳型厚み方向に対称な形状を有する。また、外側円弧部 52、52 は、上記内側円弧部 51 の鋳型厚み方向 (Y 方向) の両側にそれぞれ配置され、鋳型幅方向 (X 方向) 内側に向けて凸となる円弧からなる。双方の外側円弧部 52、52 は、鋳型厚み方向に相互に対称な形状を有する。

【0101】

内側円弧部 51 の両端はそれぞれ、交点 P にて、外側円弧部 52、52 の内側端と滑らかに接続されている。また、外側円弧部 52、52 の外側端は、湾曲凹部 40 の頂部 40 b にて、短辺鋳型板 4 の端面 4 d に対して垂直方向に接続されている。また、内側円弧部 51 の水平幅は、外側円弧部 52 の水平幅の 2 倍であり、内側円弧部 51 の円弧長も、外側円弧部 52 の円弧長の 2 倍である。さらに、内側円弧部 51 の中心角 ($= 2\theta$) も、外側円弧部 52 の中心角 ($= \theta$) の 2 倍である。

30

【0102】

かかる内側円弧部 51 の曲率半径 R_1 と、外側円弧部 52、52 の曲率半径 R_2 は、相互に同一の曲率半径 R である。図 12 に示すように、同一の半径 R を有する 3 つの仮想円 61、62、62 を外接させたときに、内側円弧部 51 は、中央に位置する仮想円 61 (中心 O_1 、半径 R) の円周の一部を構成し、2 つの外側円弧部 52、52 はそれぞれ、両側に位置する仮想円 62、62 (中心 O_2 、半径 R) の円周の一部を構成する。内側円弧部 51 と外側円弧部 52 の交点 P にて、仮想円 61 と仮想円 62 が外接している。

40

【0103】

また、図 12 はメニスカス位置での湾曲凹部 40 の水平断面形状を表しているが、図 8 等にしたように、湾曲凹部 40 は、鋳型 2 の高さ方向 (Z 方向) に連続形成されている。メニスカス位置と鋳型下端の間の任意の高さ位置で湾曲凹部 40 を水平に切断したとしても、上記と同様に、湾曲凹部 40 の水平断面形状は、同一の曲率半径 R を有する 3 つの円弧部から構成される。ただし、鋳型上部から鋳型下端に向かうにつれて、湾曲凹部 40 の幅 (短辺幅 D) が小さくなるとともに、湾曲凹部 40 の深さ d (膨らみ量) が大きくなり、上記各円弧部 51、52、52 の曲率半径 R が小さくなる。この結果、鋳型下端にお

50

いて、湾曲凹部 40 の深さ d が最大値 (d_B)、各円弧部 51、52、52 の曲率半径 R が最大値となる。一方、メニスカス位置よりも上方の鑄型上部において、湾曲凹部 40 の深さ d がゼロ、各円弧部 51、52、52 の曲率半径 R が無限大となり、短辺鑄型板 4 の内側面 4c の水平断面形状は一直線状となる。

【0104】

以上のように、本実施形態の変更例に係る湾曲凹部 40 の水平断面形状は、同一の曲率半径 R を有する 3 つの円弧部 51、52、52 からなり、隣接する円弧部 52、51、52 の湾曲方向（凸となる向き）が互いに逆向きとなっている。これにより、段差の無い滑らかな湾曲凹部 40 を均等な曲率半径で形成できるため、鑄造方向（鑄型高さ方向）の湾曲凹部 40 の形状変化により凝固シェル 30 に生じる機械的曲げ歪み（特に、引張歪み）を最小化することができる。従って、上記鑄造方向の湾曲凹部 40 の形状変化により凝固シェル 30 に生じる引張歪みの最大値を最小化できるので、鑄片 5 の縦割れを的確に抑制できる。さらに、湾曲凹部 40 を滑らかな曲面のみで構成すれば、上記部分的な応力集中が生じないので、鑄片 5 の縦割れを大幅に抑制可能である。

【実施例】

【0105】

次に、本発明の実施例について説明する。なお、以下の実施例は本発明の効果を検証するために行ったものに過ぎず、本発明が以下の実施例に限定されるものではない。

【0106】

上記実施形態に係る鑄型 2 の効果を確認するために、長辺テーパ率 T_W 、短辺仮想テーパ率 T_V 、 d_B/D_B を適宜変更した鑄型 2 を用いて、鑄片 5 を鑄造する連続鑄造試験を実施した。この際、鑄造速度 $V_c = 2.0 \text{ m/min}$ 、鑄片幅 $W = 1800 \text{ mm}$ 、鑄片厚み $= 240 \text{ mm}$ 、メニスカス高さ $Z = 800 \text{ mm}$ とした。また、いずれの場合も、湾曲凹部 40 を鑄型 2 の短辺鑄型板 4 に形成した。かかる試験における T_W 、 T_V 、 d_B/D_B の条件と、評価結果を以下の表 1 に示す。

【0107】

【表 1】

表 1 実施例の試験条件と評価結果

	試験条件			評価結果	
	長辺テーパ率 T_W (%)	短辺仮想 テーパ率 T_V (%)	d_B/D_B	Arガス気泡 個数指標	鑄型拘束
実施例1	8.75	0.5	0.17	0.5	○
実施例2	20.0	0.5	0.28	0.2	○
実施例3	30.0	0.5	0.35	0.1	○
実施例4	50.0	0.5	0.50	0.1	○
実施例5	20.0	0.0	0.28	0.2	○
実施例6	20.0	0.5	0.28	0.2	○
実施例7	20.0	1.0	0.27	0.2	○
実施例8	20.0	1.5	0.27	0.2	○
実施例9	20.0	2.0	0.27	0.2	△
実施例10	20.0	0.5	0.40	0.2	○
実施例11	20.0	0.5	0.50	0.2	○
実施例12	20.0	0.5	0.60	0.2	△
比較例1	0.00	0.5	0.00	1.0	○
比較例2	5.00	0.5	0.13	0.9	○
比較例3	60.0	0.5	0.70	0.1	×

10

20

30

40

50

【0108】

(1) 長辺テーパ率 T_w の数値範囲の有効性

上記式(2)で規定される鑄型2の長辺テーパ率 T_w の数値範囲「 $(7000/Z) \leq T_w \leq (40000/Z)$ 」の有効性を検討するため、表1に示すように、 T_w を0～60%/mの範囲内で段階的に変更した鑄型2を用いて、連続鑄造試験を実施した。なお、 $Z=800\text{mm}$ の式(2)は、式(2A)で表される。

$$(7000/Z) \leq T_w \leq (40000/Z) \quad \dots (2)$$

$$8.75\%/m \leq T_w \leq 50\%/m \quad \dots (2A)$$

【0109】

そして、各試験において、(a) Arガス気泡個数指標、(b) 鑄型による鑄片の拘束状態をそれぞれ評価した。かかる試験の条件と評価結果を上記表1に示す。

10

【0110】

表1において、(a) Arガス気泡個数指標の評価については、各試験で得られた鑄片に含まれるArガス気泡11の個数を測定し、 $T_w=0\%/m$ の場合(比較例1)のArガス気泡11の個数を基準として、各試験のArガス気泡11の個数を指標化した。つまり、 $T_w=0\%/m$ の場合(比較例1)のArガス気泡個数指標を1.0とし、他の場合(実施例1～12及び比較例2、3)のArガス気泡11の個数を、比較例1のArガス気泡11の個数で除算して、当該他の場合のArガス気泡個数指標をそれぞれ求めた。

【0111】

また、(b) 鑄型2による鑄片5の拘束状態の評価については、鑄型2から鑄片5を正常に引き抜くことができた場合を「○」、正常に引き抜くことができたが鑄片5の一部に鑄型2に拘束された痕跡があった場合を「△」、鑄型2により鑄片5が拘束されて鑄造できなかった場合を「×」として評価した。

20

【0112】

表1に示すように、実施例1～12($T_w=8.75, 20.0, 30.0, 50.0\%/m$)のいずれも、上記式(2A)の条件を満たしている。この実施例1～12では、Arガス気泡個数指標は、0.1～0.5であり、比較例1のArガス気泡個数指標の50%以下であった。特に、 $T_w=20.0\%/m$ 以上である実施例2～12では、Arガス気泡個数指標は、0.1～0.2であり、比較例1のArガス気泡個数指標の20%以下であった。また、実施例1～12のいずれも、鑄型2による鑄片5の拘束状態の評価は「○」又は「△」であり、鑄型2から鑄片5を正常に引き抜くことができる、或いは鑄片5の一部に鑄型2に拘束された痕跡があるものの正常に引き抜くことができ、Arガス気泡11の混入の少ない鑄片5を安定的に鑄造することができた。

30

【0113】

これに対し、比較例1～3($T_w=0.00, 5.00, 60.0\%/m$)のいずれも、上記式(2A)の条件を満たしていない。比較例1、2では、鑄型2による鑄片5の拘束状態の評価は「○」であるが、Arガス気泡個数指標が、0.9以上と非常に高く、多くのArガス気泡11が鑄片5に混入しており、鑄片5の表面欠陥等が生じて鑄片品質が劣化していた。この理由は、比較例1、2では、長辺テーパ率 T_w が小さすぎるため、メニスカス位置において長辺鑄型板3と浸漬ノズル6の間に十分な隙間7を確保できず、多くのArガス気泡11が凝固シェル30に捕捉されたからであると考えられる。

40

【0114】

また、比較例3では、Arガス気泡個数指標は0.1と低いが、鑄型2による鑄片5の拘束状態の評価が「×」であり、長辺鑄型板3、3により鑄片5が拘束されて、鑄型2から鑄片5を正常に引き抜くことができなかった。この理由は、比較例3では、長辺テーパ率 T_w が60%/mと大きすぎるため、特に鑄型下部において、長辺鑄型板3、3により鑄片5が過度に拘束されたからであると考えられる。

【0115】

以上の結果から、長辺テーパ率 T_w が、式(2)の条件($8.75\%/m \leq T_w \leq 50\%/m$)を満たし、かつ、短辺鑄型板4に湾曲凹部40を設けることにより、Arガス気

50

泡 1 1 等の介在物欠陥がない高品質の鋳片 5 を、鋳型 2 に拘束されることなく安定的に鋳造できることが確認されたといえる。特に、 $20\%/\text{m} \leq T_W \leq 50\%/\text{m}$ である場合には、Ar ガス気泡 1 1 等の介在物欠陥を、より適切に抑制でき、更に高品質の鋳片 5 を安定鋳造できることが確認された。

【0116】

(2) 短辺仮想テーパ率 T_V の数値範囲の有効性

次に、上記式 (4) で規定される短辺仮想テーパ率 T_V の数値範囲「 $0\%/\text{m} \leq T_V \leq 1.5\%/\text{m}$ 」の有効性の検討結果について説明する。表 1 に示すように、実施例 5～9 では、長辺テーパ率 $T_W = 20\%/\text{m}$ に固定した状態で、短辺鋳型板 4 の湾曲凹部 40 の形状を変更することで、 T_V を $0 \sim 2.0\%/\text{m}$ の範囲内で段階的に変更させた。この際、メニスカス短辺幅 $D_U = 300\text{mm}$ 、鋳型下端短辺幅 $D_B = 240\text{mm}$ とした。

$$0 \leq T_V \leq 1.5 \quad \dots (4)$$

【0117】

そして、各実施例 5～9 において、鋳型による鋳片の拘束状態をそれぞれ評価した。かかる試験の条件と評価結果を上記表 1 に示す。

【0118】

表 1 に示すように、実施例 5～8 ($T_V = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5\%/\text{m}$) のいずれも、上記式 (4) の条件を満たしている。この実施例 5～8 では、鋳型 2 による鋳片 5 の拘束状態の評価は「○」であり、鋳型 2 から鋳片 5 を正常に引き抜くことができ、鋳片 5 を安定的に鋳造することができた。

【0119】

これに対し、実施例 9 ($T_V = 2.0\%/\text{m}$) は、上記式 (4) の条件を満たしていない。この実施例 9 では、鋳型 2 による鋳片 5 の拘束状態の評価が「△」であり、鋳型 2 により鋳片 5 が拘束されて、鋳片 2 に一部拘束の痕跡があった。この理由は、実施例 9 では、 T_V が大きすぎて、実質的な長辺テーパが大きくなり、長辺鋳型板 3、3 と鋳片 5 の接触がきつくなったからと考えられる。

【0120】

以上の結果から、短辺仮想テーパ率 T_V が、式 (4) の条件 ($0\%/\text{m} \leq T_V \leq 1.5\%/\text{m}$) を満たすことにより、高品質の鋳片 5 を、鋳型 2 に拘束されることなく、より安定的に鋳造できることが確認されたといえる。

【0121】

(2) 短辺仮想テーパ率 T_V の数値範囲の有効性

次に、上記式 (5) で規定される鋳型下端凹部深さ d_B と鋳型下端短辺幅 D_B の比 (d_B/D_B) の数値範囲「 $(d_B/D_B) \leq 0.5$ 」の有効性の検討結果について説明する。表 1 に示すように、実施例 10～12 では、長辺テーパ率 $T_W = 20\%/\text{m}$ に固定し、かつ、短辺仮想テーパ率 $T_V = 0.5\%/\text{m}$ に固定した状態で、短辺鋳型板 4 の湾曲凹部 40 の形状を変更することで、 d_B/D_B を $0.4 \sim 0.6$ の範囲内で段階的に変更させた。この際、メニスカス短辺幅 $D_U = 360\text{mm}$ 、鋳型下端短辺幅 $D_B = 240\text{mm}$ とした。

$$(d_B/D_B) \leq 0.5 \quad \dots (5)$$

【0122】

そして、各実施例 10～12 において、鋳型による鋳片の拘束状態をそれぞれ評価した。かかる試験の条件と評価結果を上記表 1 に示す。

【0123】

表 1 に示すように、実施例 10 及び 11 ($d_B/D_B = 0.4, 0.5$) は、上記式 (5) の条件を満たしており、鋳型下端における湾曲凹部 40 の水平断面形状は、($D_B/2$) 以上の半径を有する半円であった。この実施例 10、11 では、鋳型 2 による鋳片 5 の拘束状態の評価は「○」であり、鋳型 2 から鋳片 5 を正常に引き抜くことができた。

【0124】

これに対し、実施例 12 ($d_B/D_B = 0.6$) は、上記式 (5) の条件を満たしてお

らず、鑄型下端における湾曲凹部 40 の水平断面形状は、上記実施例 1 の半円の半径よりも小さい曲率を有する半楕円であった。この実施例 12 では、鑄型 2 による鑄片 5 の拘束状態の評価が「△」であり、短辺鑄型板 4、4 により鑄片 5 が拘束されて、鑄片 2 の一部に鑄型 2 による拘束の痕跡があった。この理由は、実施例 12 では、湾曲凹部 40 の湾曲面の曲率が小さすぎるため、凝固シェル 30 の短辺部が短辺鑄型板 4 から受ける歪みに偏りが生じ、湾曲凹部 40 B 内で凝固シェル 30 が均一に変形せず、短辺鑄型板 4 により拘束されたからであると考えられる。

【0125】

以上の結果から、 d_B と D_B の比が、式 (5) の条件 ($(d_B / D_B) \leq 0.5$) を満たすことにより、高品質の鑄片 5 を、鑄型 2 に拘束されることなく、より安定的に鑄造できることが確認されたといえる。

10

【0126】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【符号の説明】

【0127】

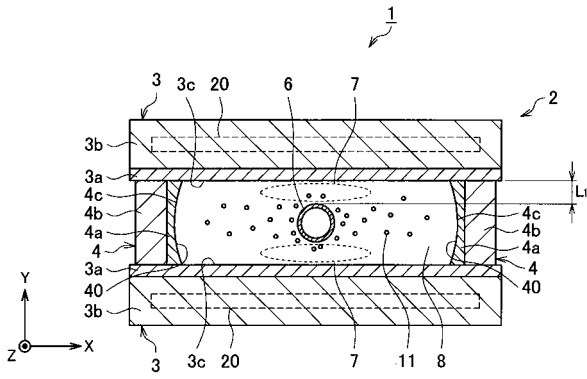
- 1 連続鑄造装置
- 2 鑄型
- 3 長辺鑄型板
- 3 a 銅板
- 3 b ステンレス製ボックス
- 3 c 内側面
- 4 短辺鑄型板
- 4 a 銅板
- 4 b ステンレス製ボックス
- 4 c 内側面
- 4 d 端面
- 5 鑄片
- 6 浸漬ノズル
- 7 隙間
- 8 溶鋼
- 9 吐出孔
- 10 吐出流
- 11 A r ガス気泡
- 12 メニスカス
- 20 電磁攪拌装置
- 21 攪拌流
- 22 電磁ブレーキ装置
- 23 直流磁界
- 24 誘導電流
- 25 対向流
- 30 凝固シェル
- 40 湾曲凹部
- 40 a 底部
- 40 b 頂部

20

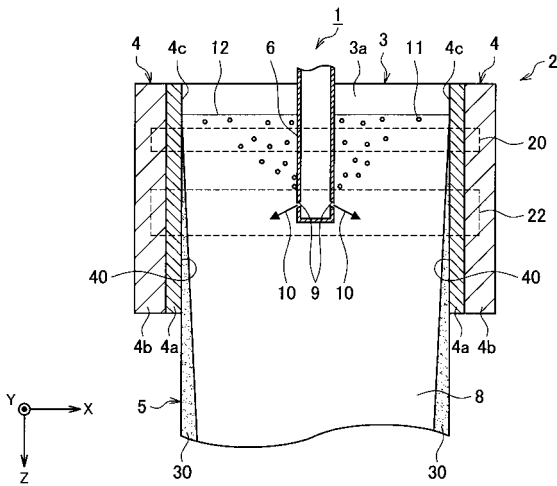
30

40

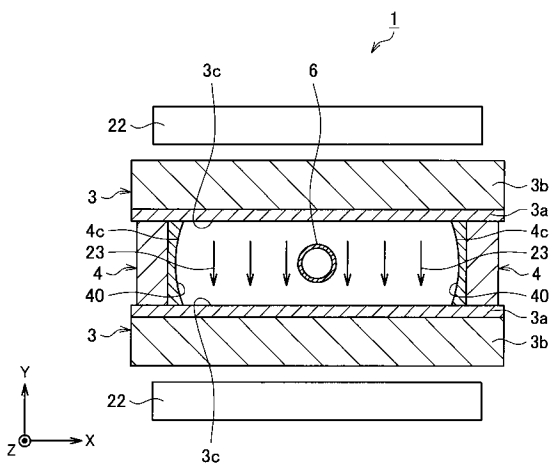
【図 1】



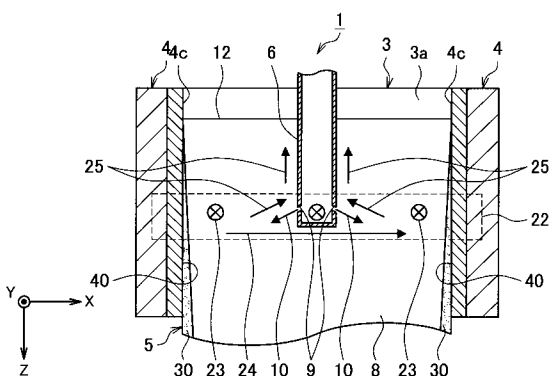
【図 2】



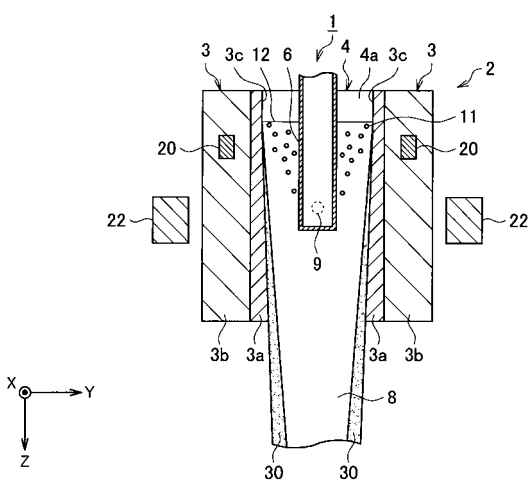
【図 5】



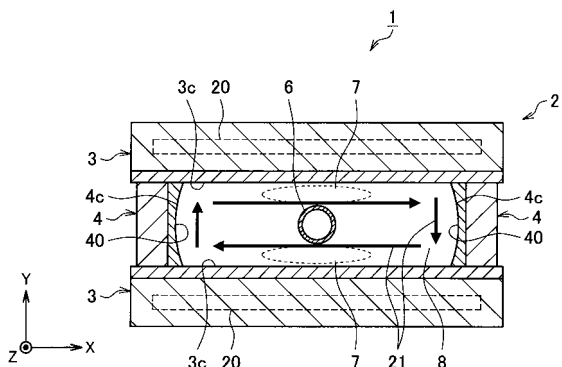
【図 6】



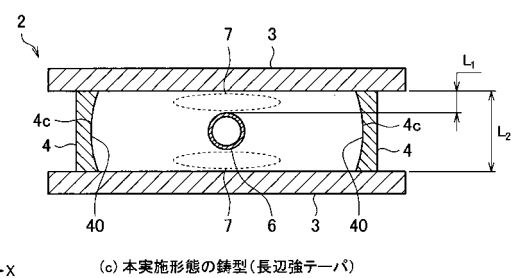
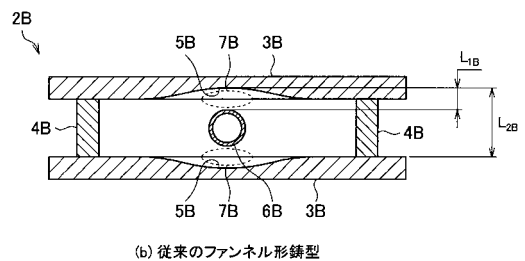
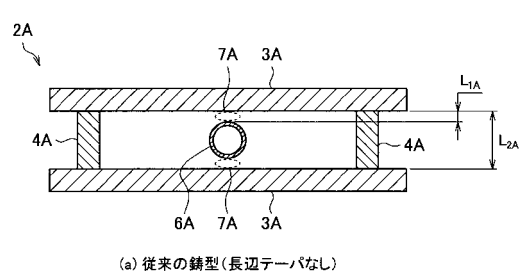
【図 3】



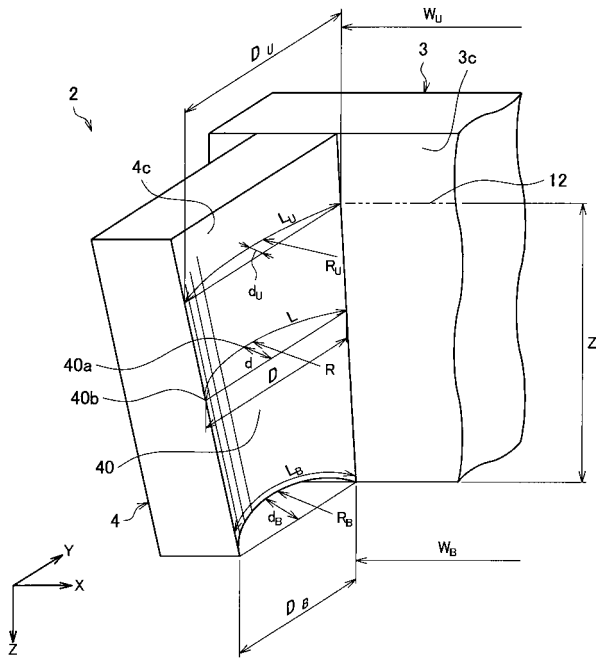
【図 4】



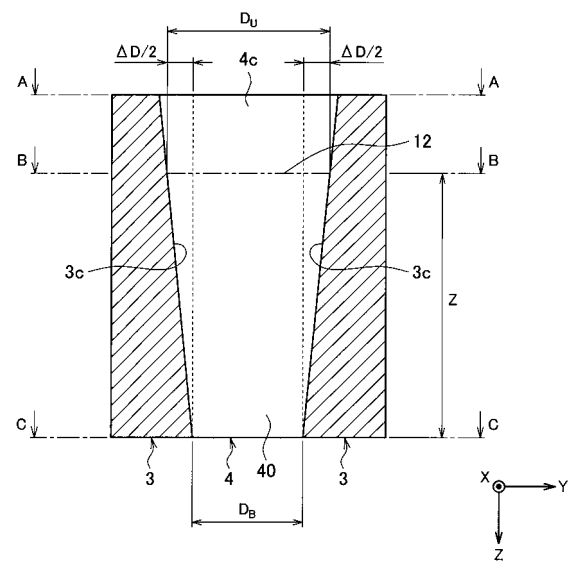
【図 7】



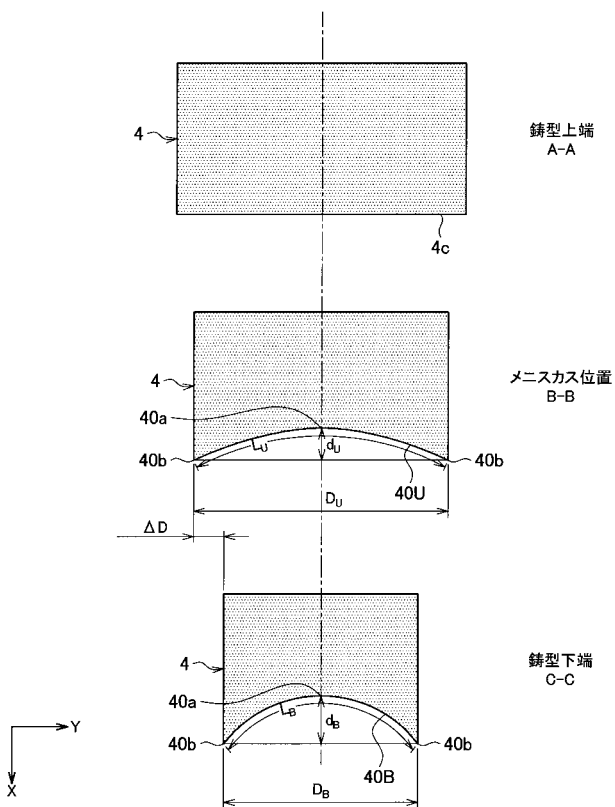
【図 8】



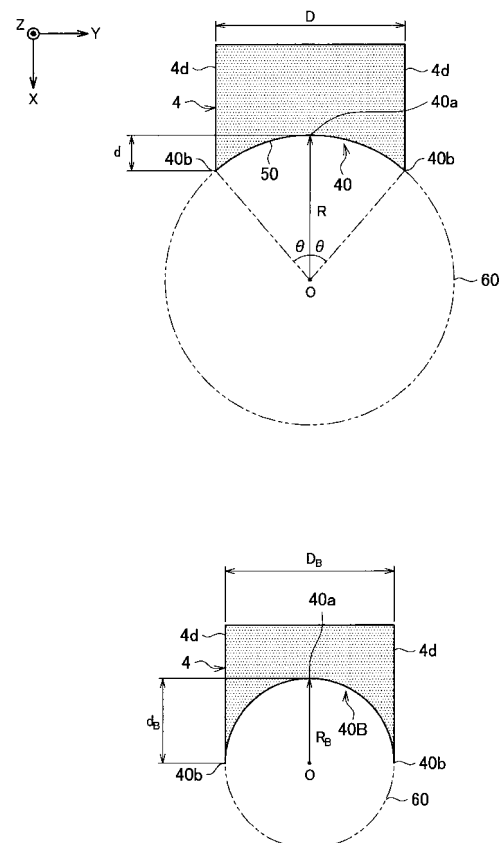
【図 9】



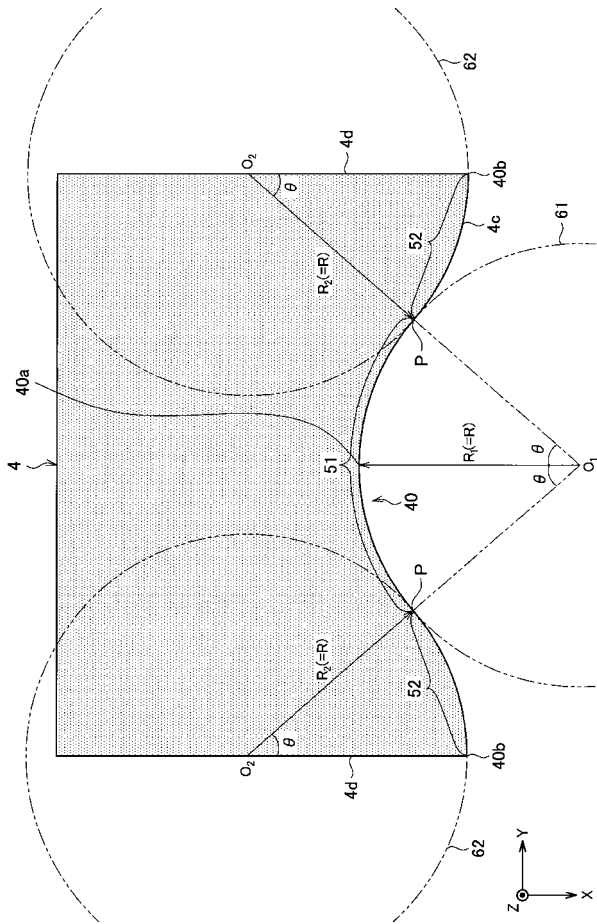
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (72)発明者 嶋 省三
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 岡澤 健介
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 梶谷 敏之
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- Fターム(参考) 4E004 AA05 AA07