
水島製鉄所における垂直曲げ型連铸の建設と操業

Construction and Operation of Vertical-with-Bending Continuous Slab Caster at Mizushima Works

飯田 義治(Yoshiharu Iida) 大森 尚(Hisashi Omori) 江本 寛治(Kanji Emoto) 前田 瑞夫(Mizuo Maeda) 大図 秀志(Hideshi Ozu) 小島 信司(Shinji Kojima)

要旨：

当社水島製鉄所における5基目の連铸機である垂直曲げ型連铸機は昭和51年11月に稼働し、以来順調な操業を続けている。本連铸機は世界一の大断面スラブ(310×2500mm)を鍊造でき、高級鋼種の鑄造に優れ、さらに種々の自動制御を駆使して生産性の向上に寄与している。鑄片品質に関しては実験操業を含めた過去10箇月の操業の結果、次のような結論が得られた。すなわち湾曲型連铸機に比較して、非金属介在物が減少し、等軸晶率の増大により中心偏析は軽減し、内部割れは皆無となった。表面品質は、湾曲型連铸機と同様極めて良好であった。

Synopsis：

Vertical-with-bending type continuous casting machine, the fifth C.C. machine at Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., has been satisfactorily working since its start of operation in November, 1976. This large-section (Max. 310×2500mm) slab continuous casting machine with many kinds of automatic control equipment is contributing to a high productivity. Ten months' operation showed a marked improvement in the internal quality of the slabs as compared with that of curved type machine. Namely, central segregation diminished because of decrease of non-metallic inclusion and increase of areal ratio of equi-axed zone, and internal crack disappeared completely. Surface quality of slabs was as excellent as that of curved type machine.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

水島製鉄所における垂直曲げ型連铸機の 建設と操業

Construction and Operation of Vertical-with-Bending Continuous Slab Caster at Mizushima Works

飯 田 義 治*

Yoshiharu Iida

大 森 尚**

Hisashi Omori

江 本 寛 治***

Kanji Emoto

前 田 瑞 夫****

Mizuo Maeda

大 岡 秀 志*****

Hideshi Ozu

小 島 信 司*****

Shinji Kojima

Synopsis:

Vertical-with-bending type continuous casting machine, the fifth C.C. machine at Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., has been satisfactorily working since its start of operation in November, 1976.

This large-section (Max. 310×2500mm) slab continuous casting machine with many kinds of automatic control equipment is contributing to a high productivity.

Ten months' operation showed a marked improvement in the internal quality of the slabs as compared with that of curved type machine. Namely, central segregation diminished because of decrease of non-metallic inclusion and increase of areal ratio of equi-axed zone, and internal crack disappeared completely.

Surface quality of slabs was as excellent as that of curved type machine.

1. 緒 言

垂直曲げ型連铸機は、第2製鋼工場の既設第5連铸機に隣接し、水島製鉄所第5番目の連铸機で大断面スラブ用として建設され、昭和51年11月12日に稼動して以来順調な操業を続けている。本機

は住友重機械工業(株) - Concast社製の垂直曲げ型半地下式2ストランド連铸機で、スラブ断面寸法が最大310×2500mmの厚板向、ホット向の素材を铸造する。铸造断面が大きいので作業性が良く、表面品質および内質の優れた製品を製造できるなど、多くの特長を有している。なお铸造断面310×2500mmは世界最大である。

* 水島製鉄所製鋼部部長
*** 水島製鉄所製鋼部第2課副課長
***** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室
〔昭和53年10月6日原稿受付〕

** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主任(部長付)
**** 水島製鉄所製鋼部第2課課長
***** 水島製鉄所企画部設計室主任(部長待遇)

本報では本連鑄機の概要と操業状況について紹介する。

2. 建設目的

本連鑄機が設置される以前、水島製鉄所内にはブルーム用連鑄機2基、スラブ用連鑄機2基が設置され、大形工場・鋼片工場・第1厚板工場および熱間圧延工場への素材供給を行ってきた。しかし厚板製品の単重増という時代の要請の中で、昭和48年に最大単重28tのスラブを圧延する第2厚板工場の建設が決定されたため第3分塊工場の建設を止め、大断面スラブを連続鑄造で製造する考え方が急速に高まった。

このような背景のもとに、本連鑄機は主に第2厚板工場の素材供給設備として、大断面スラブの鑄造が可能で、かつ高級鋼の連鑄化に適した設備であることを目的として昭和49年に建設されることとなった。

なお、本連鑄機は第5番目の連鑄機ではあるが、将来設定予定の連鑄機名称との関連で第6連続鑄造機（以後第6連鑄機と記す）と命名された。

3. レイアウト

第6連鑄機は既設第5連鑄機と隣接する関係で溶鋼鍋ハンドリングを同じスイングタワー方式とし、各ヤードはクレーンの走行方向と連鑄機ストランド方向を直交させる方式とした。こうしてタンディッシュヤード、保全ヤード、環水設備などを第5連鑄機と共用にし、スラブの手入、管理および搬出のハンドリングも容易にした。

特にスラブ精整設備では、第5連鑄機、第6連鑄機で生産されるスラブの表面性状を一括管理するため直交2面用コールドスカーファァを設置し、同時に厚板向スラブのためにガス切断ラインを当面1系列、将来2系列設置可能なレイアウトとした。

また、圧延工場への搬出場所を3箇所に分散して向先別にし、スラブの管理、払い出し作業を円滑にした。

第2製鋼工場レイアウトをFig. 1に、連鑄機の全体図をFig. 2に、概要仕様をTable 1に示す。

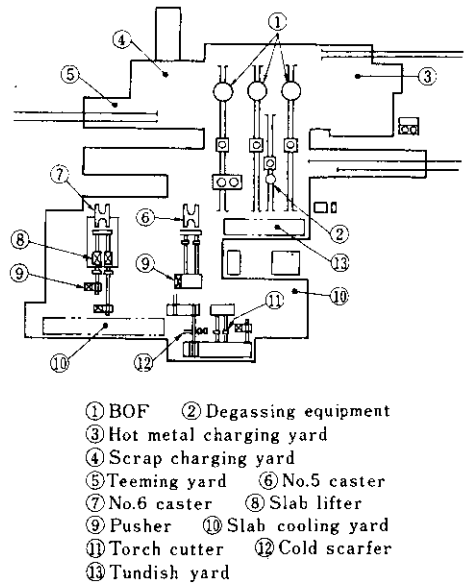


Fig. 1 General layout of No. 2 steelmaking plant

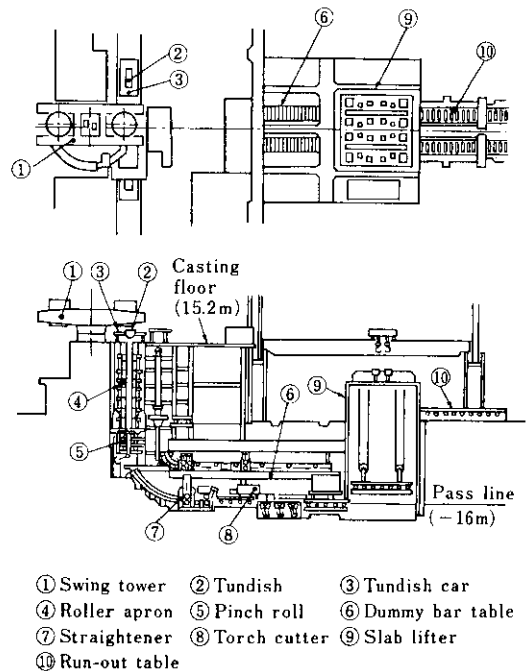


Fig. 2 General layout of No. 6 continuous casting machine

さらに精整設備の概略仕様をTable 2に示す。

Fig. 2に示すように、垂直型連鑄機で完全凝固後鑄片を曲げる形式を採用しているために機械全高が増し、鑄込床は第5連鑄機の鑄込床より2m高い。一方、ガス切断機パスラインはこの敷地のような軟弱地盤としては限界深さに近いFL-16m

Table 1 Main specification of slab casters at Mizushima Works

	No. 6 CCM	No. 5 CCM	No. 2 CCM
Furnace	250t LD, $\times \frac{2}{3}$	250t LD, $\times \frac{2}{3}$	180t LD, $\times \frac{2}{3}$
Machine type	Vertical-bending	S type (2 point bending)	S type (1 point bending)
Casting time	45~60min/heat	60~80min/heat	45min/heat
Number of strands	2	2	2
Slab size	215 $\times$ (1 600~2 200), 240 $\times$ (1 600~2 050), 310 $\times$ (2 300~2 500)	190 $\times$ (1 400~1 900), 220 $\times$ (850~1 550)	220 $\times$ 1 575, 260 $\times$ 1 890
Steel grade	40, 50 kg/mm ² plate; X60, X65 line pipe	40 kg/mm ² plate, ERW pipe, L.C., Al-killed plate	40 kg/mm ² plate
Casting radius	10 500 mm	12 000 mm, 19 000 mm	12 500 mm
Cut slab length	5 500~12 200 mm	4 000~12 200 mm	2 000~12 200 mm
Slab supporting length	16.9 m	33.4 m	26.9 m
Casting floor	FL+15.2 m	FL+13.0 m	FL+13.5 m
Outlet pass line	FL+16.0 m	FL+1.0 m	FL+1.2 m
Containment roll type	Divided	Simple plus divided	Simple

Table 2 General specification of slab conditioning line

Capacity (t/month)	Scarfig line	100 000
	Cutting line	140 000
Slab size (mm)	Thickness	190~310
	Width	850~2 500
	Length	Max. 12 200
Scarfer	2 sided cold scarfig machine (Union Carbide Corp.)	
Cutting machines	2-torched gas cutting machine, $\times 2$ (Koike Sanso K.K.)	
Other installations	Roller tables, chain transfer table, slab turner, pusher, piler (Sasebo Heavy Industries Co., Kawasaki Denki K.K.)	

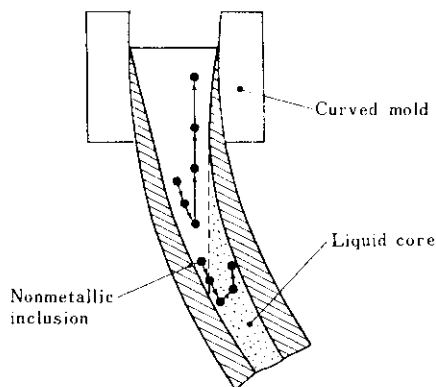


Fig. 3 Schematic illustration of concentration of nonmetallic inclusions at one side of strand in the case of curved mold

となり、当社の土木技術を駆使して鋼管矢板式基礎工法により深さ18mのピットを製作した。

4. 連铸機種の選定

連铸機種を決める最大のポイントは、S型機にするか垂直機にするかということであったが、銑片内質のうち非金属介在物に関する問題を最重要視し、内質の良好な銑片を得ることを優先目標とした。

Fig. 3に示すように、S型機は介在物が浮上する時に円弧内側に捕捉されやすく、ラミネーションなどの原因となる。これに対して垂直機は介在

物の浮上性に優れ大型介在物がほとんど浮上分離する利点を持っている。さらに内部割れ、偏析および等軸晶率についてもS型機に比べ有利である。

これらの点から、垂直機は機高が高く建設費が高くなるが、高級鋼種の連铸化を促進するという目的で垂直曲げ型連铸機を採用した。メーカーは住友重機械工業(株) - Concast社である。

5. 設備各論

5.1 スイングタワー

鍋やードと連铸機やードを分離し連铸機の整備

作業を容易にするため、鍋ハンドリングをスイングタワー方式とした。スイングタワーは積載重量最大410t、回転半径6.5mで溶鋼鍋を最大600mm昇降できるようになっている。このため溶鋼鍋のロータリーノズルの開孔作業、無酸化注入作業が従来設備に比較して著しく改善された。

5.2 タンディッシュおよびタンディッシュカー

ストランド間隔を十分大きくとるために、タンディッシュを第5連铸機と共用せず新規に設計することを検討した。しかし、既設タンディッシュヤード（Fig. 1に示すように第5連铸機南側に配置）では2種類のタンディッシュを取扱うだけの空間がなく、また第6連铸機の北側に独立ヤードを確保することも铸造スタンドの整備場所、既設水処理設備との競合のため不可能であった。反面、タンディッシュを共用するとタンディッシュ総個数が少なくてすみ、その修理、煉瓦積等の管理が容易となる利点がある。そこで、ストランド間隔は狭くせざるを得ないが、第5連铸機用タンディッシュを共用することにした。

タンディッシュカーの全体図をFig. 4に示す。タンディッシュカーの駆動源は、スライディングゲートの駆動が油圧式であることや、台車の構造の簡素化によるモールドへの近接性などの点から全油圧式とした。

5.3 モールド

モールドは、215×(1 600～2 200mm)用、240×(1 600～2 050mm)用、310×(2 300～2 500mm)用の3種類でその概略構造をFig. 5に示す。

モールドの長さについては、一般に700mmから1 200mmのものが実用されているが、モールドが長いとシール漏れ対策、ブレイクアウト対策の点では有利でも铸件表面性状にとっては不利になると判断し、スラブ幅が大きいことを考慮して900mm長さを採用した。

铸件の幅変更は機上でスクリー、歯車機構を介して手動操作でき、短辺はスペーサーで固定する。モールドフレームは、Concast社の特許であるU字型式を採用しており、従来のタイボルトのみの結合方式に比べ芯出しなどの点で有利である。また、モールドには⁶⁰Coによるγ線レベル計を設

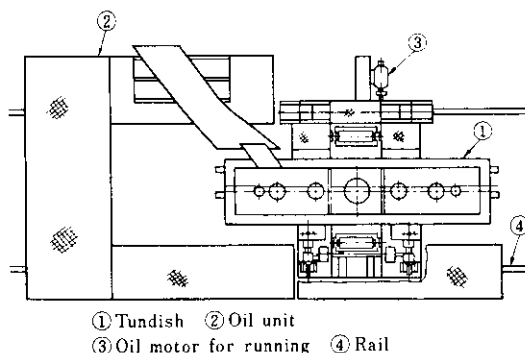


Fig. 4 Plan view of tundish car

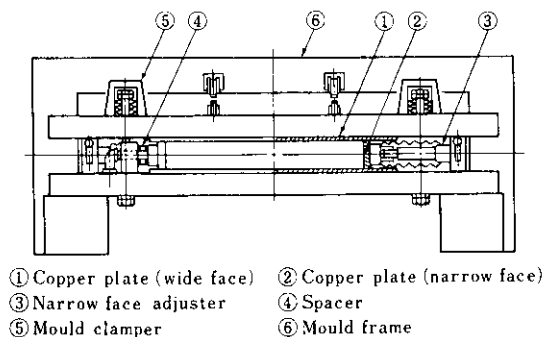


Fig. 5 Schema of mould assembly

置し、モールド内自動湯面制御を行っている。

5.4 ローラエプロン

ローラエプロンの概略構造をFig. 6に示す。

本連铸機は大断面の準厚板専用機であることおよび垂直機であることからローラエプロンの主仕様を次のようにした。

(1) ローラエプロンの長さは凝固定数の不確実性、铸込速度のパラツキを考慮し、さらに共用体セグメントの互換性を考えて、メニスカスからローラ

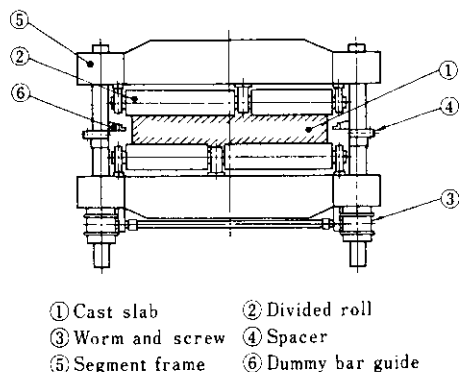


Fig. 6 Schema of roller apron assembly

エブロン末端ロールまでの距離を約16.9mとした。

(2) セグメントの支持方式は、ロールの摩耗、軸受の遊びなどに伴うロールアライメントの不整に対して、セグメント全体を固定しないフリーセグメント方式もとれるようにした。

(3) 厚み変更装置はウォームスクリー方式とし、厚み設定はスペーサー手動装入方式とした。

(4) ロールはそれ自身の反りを少なくし、ロール支持ピッチを短くして鑄片の内部欠陥を少なくする目的で全数2分割ロール形式とし、当社独自の内部水冷分割ロール構造を採用した。

(5) スプレーノズルは、スケールによるノズル詰りを防止するため、広角ノズルを採用した。

(6) スプレー冷却水がチャンバーから下方に流れ出ないように、エアーシール式水切装置を設置した。

5.5 ピンチロール

ピンチロールおよびベンディングロールの概略構造を Fig. 7 に示す。

設備能力

最大引抜力 : 248t

最大保持力 : 372t

駆動用電動機 : DC 22kW × 6 台

A ロールは固定で、B～F ロールは360mmφのシリンダーを持ち、C ロールは後縁線より前方に出ないように、E ロールは後縁線より後方に逃げないようにストッパーを設置している。F ロールは鑄片を曲げる時の反力を受けるため、ロール径を900mmとし、ウォームジャッキで受けている。

さらに、通常のS型機におけるピンチロールの機能のほかに下記の作業を可能にした。

(1) ブレックアウト等の事故で長時間鑄造が停止した時の安全対策のため、最大断面のJサイズ(310×2500mm)でストレートナ直前に至る鑄片の重量を任意のロール4本で保持でき、かつ100mm程度逆送できる。

(2) Jサイズ鑄片の変形抵抗が最大20kg/mm²の場合まで曲げながら引抜できる。

したがって、通常操業時にはかなり余裕のあるピンチロール能力となった。

5.6 ダミーバー

本来、ローラエブロン部分が垂直であるから、

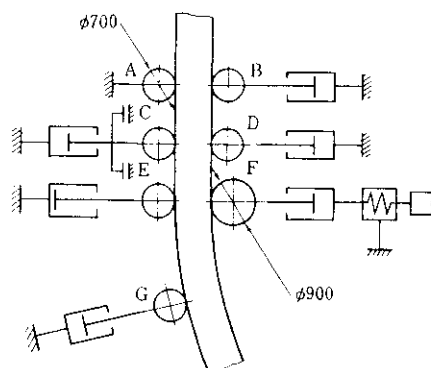


Fig. 7 Schema of pinch and bending rolls

ダミーバーを一体構造として下部からの装入が妥当と考えられた。しかし、ピットの深さがFL-23mとなり土木工事上問題が多いこと、ダミーバーヘッドおよび専用体の交換作業がピンチロール直下になるため、水漏れ・スラブからの輻射という点で環境が悪いこと、さらにスイングタワー用コンクリート壁との関係でダミーバーヘッドの置場が十分とれないことなど多くの問題点があった。そのため、ピンチロール直下で円弧内側よりダミーバーを装入する方法を採用した。

Fig. 8にダミーバーテーブルの組立を示す。ダミーバーは専用体と共用体とからなるリンクプレート組立式で、ヘッドはパーマネントダミーバーヘッドである。

鑄片とダミーバーヘッドを切り離す過程を Fig. 9 に図解する。

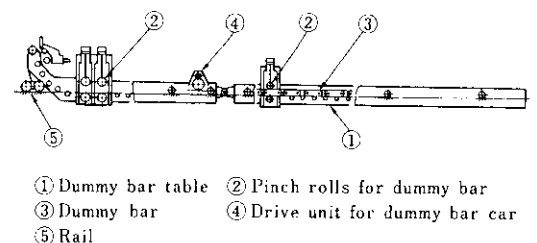


Fig. 8 Schema of dummy bar table

5.7 ストレートナー

ストレートナーの概略構造を Fig. 10 に示す。

設備能力

最大引抜力 : 165t

電動機 : DC 22kW × 4 台

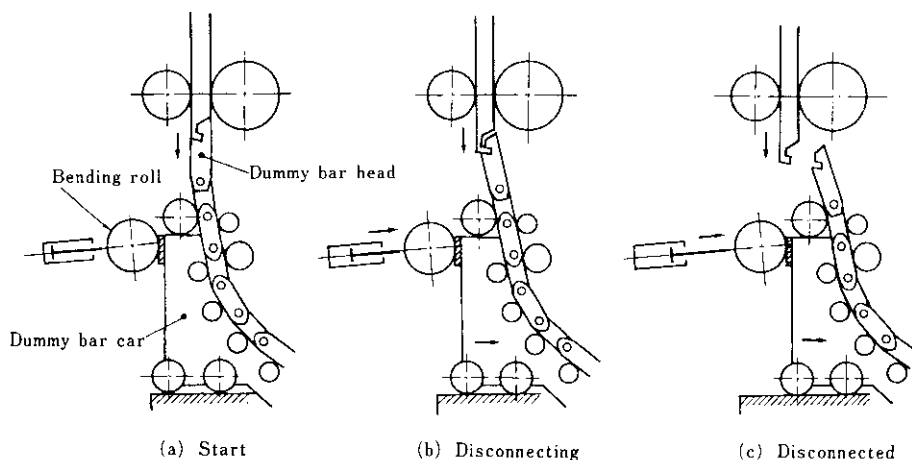


Fig. 9 Schematic illustration of dummy bar head disconnection sequence

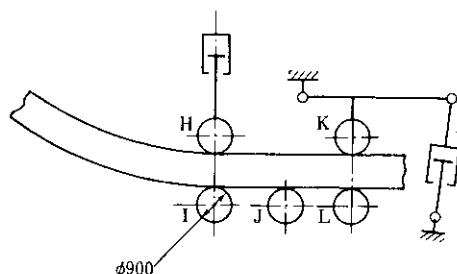


Fig. 10 Schema of the straightener

ピンチロールユニットには、ストレートナーの入口寸前までの鋳片の引抜保持に必要なすべての能力を持たせている。これに対してストレートナーユニットには、鋳片がピンチロールを抜けた後、矯正および圧延を行うのに必要なすべての能力を持たせた。すなわち、

- (1) 鋳片後端がピンチロールを抜けてからの鋳片の引抜および保持能力
- (2) Jサイズ鋳片の変形抵抗が最大 20kg/mm^2 の場合までの連続的矯正能力
- (3) クラウン形状を持ったK, Lロールで鋳片を3mm圧下する能力とした。

5.8 1次搬出設備

1次搬出設備は、トーチ前面テーブル、トーチ下テーブル、スラブリフターより成る。

切断機テーブルは、第2、第5連鋳機では切断後のスケールの堆積に苦慮していること、特に今回は本体ピットの底に位置することを考慮し、切

断スラグを粒化させるジェット水吹付け装置を採用し、シュートなど下部構造物にノロが堆積しにくいよう配慮した。

切断機本体の走行距離は8800mm、スラブ最小切断長さは5.5mである。

スラブリフターはローラテーブル昇降式で揚重最大80t、揚程17mとした。また、昇降中の荷流れ防止装置、上限位置でのフック操作、ワイヤーゆるみ検出装置等スラブリフターの安全性には十分配慮した。

6. 操 業

6.1 設備上の初期トラブル

初期トラブルの多くは、ピンチロール-ストレートナー間の、従来のS型機には存在しなかった部分で起こった。

最初の鋳造でダミーバー切り離し完了後、ベンディングロールでの鋳片曲げを失敗して鋳片先端がストレートナーロールにあたるという事故を経験した。その後、試運転中にストレートナー用減速機の破損事故が発生した。減速機は2段遊星歯車減速機で、原因は軸受の容量不足、遊星軸の片持支持による構造欠陥、減速機各段の効率の見積り方の誤りの3点であった。

次に、スラブが幅方向に曲がりストレートナーのロールチョック防熱用ジャケットを破損し、引抜き不能となる事故がしばしば発生した。この曲

がりは、鑄片温度が高い時、断面寸法が小さい時に顕著に現れた。発生原因は、ストレートナーH・Iロールの駆動用減速機と電動機の重量がロールの片側に乗っていて、左右圧下力の差を誘発していたためと判断された。その対策として、Hロールの左右のシリンダの圧下力を手動調整できるように油圧回路を改造した。

現在、設備上のトラブル原因はすべて解決されている。

6・2 操業経過

操業を開始した昭和51年11月12日から最近までの生産量の推移をFig. 11に示す。最初の3箇月は1個班操業であったが、2月より変則2個班操業、5月より変則3個班操業、6月より完全3個班操業となっているので、生産量が該当月に急激に増加している。

操業成績をFig. 12に示す。ブレイクアウトの原因は、モールドスプレーとクーリングプレートの

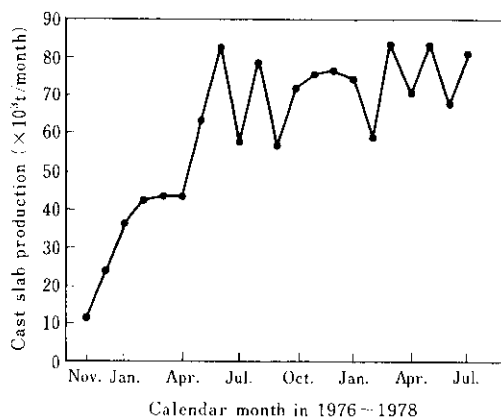


Fig. 11 Progress in monthly production by No.6 CCM

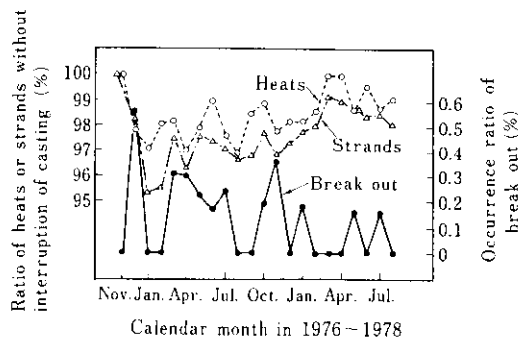


Fig. 12 Operational performance of No.6 CCM

水量が不足したためで、水量増加により、ブレイクアウト事故が減少するとともにクーリングプレートの歪も減少した。

鑄造鋼種については、従来の鑄造可能な鋼種に加えS型連铸機では鑄込み得なかった鋼種についても確性テストを実施し、連铸化に成功している。厚板材では、調質鋼、高張力鋼、ボイラー材、圧力容器、UOパイプ材および極厚材などを工程鑄造している。特にUO素材は全量を連続鑄造しており、X60、X65およびX70の多連铸込を行い、造管後の成績も極めて良好で、ボトム、継目およびトップスラブを含む全スラブを製品充当している。UO材の生産量の推移をFig. 13に示す。ホット材では厚さ1.5mm以上の厚物の低炭アルミキルド鋼(Al 0.040%)を鑄造し、幅スリットしている。

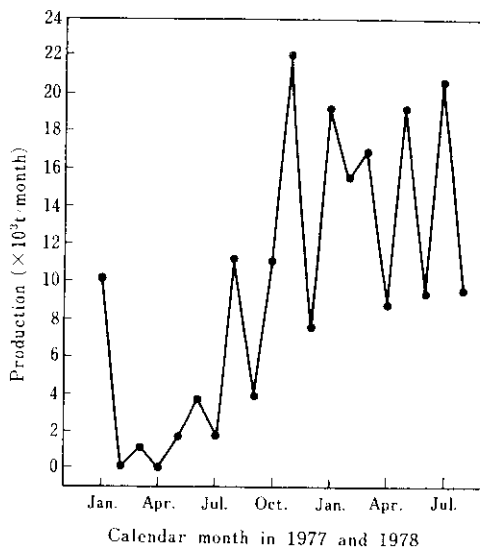


Fig. 13 Progress in monthly production of UO pipes

6・3 鑄片および製品の品質

表面性状は当所第2、第5連铸機と大差なく、極めて良好であるので内部性状について報告する。

6・3・1 凝固組織

Photo. 1に240t $\times$ 1700mmスラブの、またPhoto. 2には310t $\times$ 2500mmスラブの代表的マクロ組織を示す。

タンディッシュ内溶鋼過熱度 ΔT と等軸晶率の関係をFig. 14に示す²⁾。S型機である第2連铸機では ΔT が20°C以上になると等軸晶率が0となる

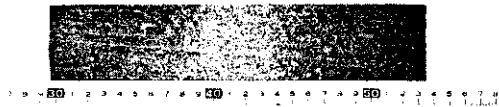


Photo. 1 Macrostructure of 240×1700mm slab section
(high Mn, high Al 50kg/mm² plate)

が、本機では ΔT が 30℃ でも等軸晶率が 20% 弱ある³⁾。このことは、垂直型連铸機が中心偏析の防止という点で優れていることを示している。また、当初の予想どおり等軸晶は Photo. 1 に示したように、スラブ厚中心を境に均等に現れ S 型機との差が明瞭である。

6・3・2 偏析²⁾

代表的なサルファープリントを Photo. 3 に示す。中心部の偏析は、S 型機のそれが連続的に現れているのに比べ、20~50mm ピッチで不連続的に現れている。偏析は第 2 連铸機のロール絞り込み操業時のものと同程度である。

6・3・3 サルファースポット数

铸片断面のサルファープリントを厚み方向に 5 等分し、その内部に存在する S-スポットを数えた結果を Fig. 15 に示す。S-スポットはスラブの上下面（広い面）側に若干観察されたが、100cm² 中に 1 個以下と極めて少なかった。一方、垂直部

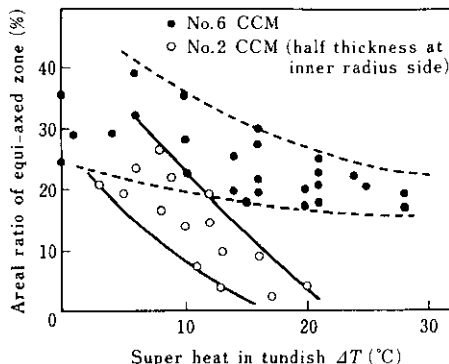


Fig. 14 Influence of steel temperature in tundish on equi-axed zone formation

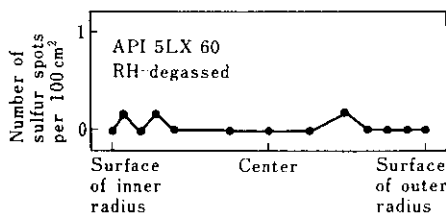


Fig. 15 Through-thickness distribution of sulfur spots in the sulfur print of slab section continuously cast with inert gas sealing between ladle and tundish

2.3mの垂直モールド曲げ方式の千葉製鉄所第 2 連铸機と比較すると、S-スポットの集積状況は類似しているが、集積個数は垂直部 21m の本連铸機の方が極めて少ない。

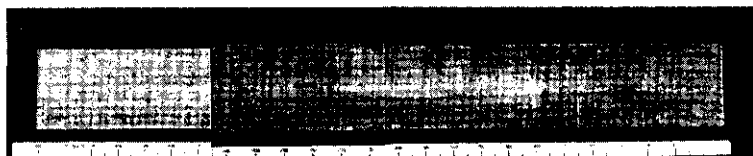


Photo. 2 Macrostructure of 310×2500mm slab section (low Al 40kg/mm² plate)

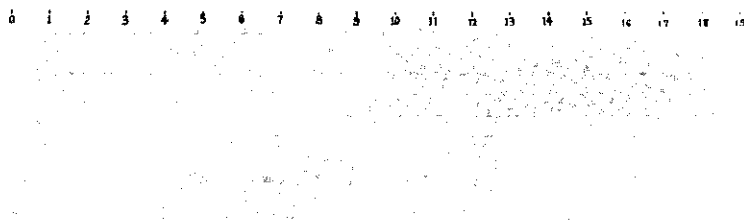


Photo. 3 Typical sulfur prints of 215×1800mm slab section (high Mn, high Al 50kg/mm² plate)

6・3・4 鋳片内の大型非金属介在物量

鋳片C断面で 100μ 以上の大型介在物を調査した結果をFig.16に示す。本連铸機で鋳造した鋳片の大型介在物はS型機に比較して $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ に減少している。また鋳片幅方向での介在物量の差はあまりなく、ほぼ均一である。一方、厚み方向ではFig.17に示すように鋳片表面から5~80mmの範囲に介在物が散在し、S型機による連铸材で観察されるような介在物集積帯⁴⁾は発生していない。

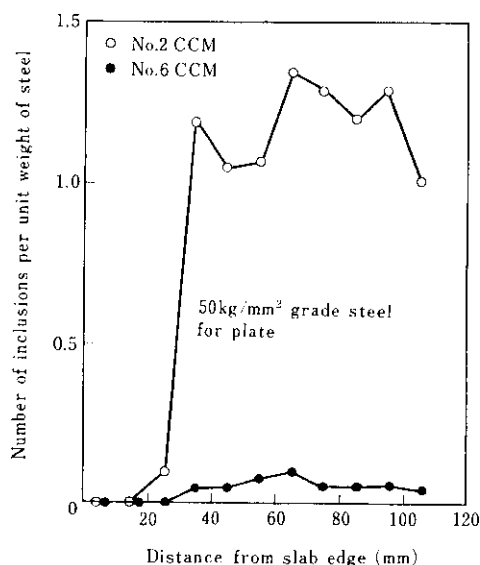


Fig. 16 Distribution of inclusions larger than 100μ along slab width

7. 結 言

水島製鉄所で昭和51年11月稼動した当所で5基

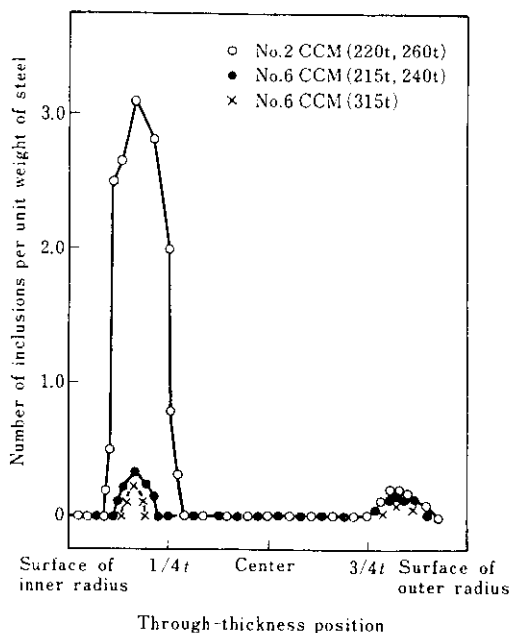


Fig. 17 Through-thickness distribution of inclusions larger than 100μ in the continuously cast, 50kg/mm^2 grade slab for plate

目にあたる垂直曲げ型スラブ連铸機について、設備概要と操業状況および鋳片の品質を紹介した。本連铸機は順調な立上りを示し、所期の目的である品質良好な大断面スラブを鋳造し、垂直機の特性を十分発揮している。特に内質に関しては、非金属介在物、等軸晶率、偏析、内部割れの点で優れた結果が得られている。今後は、連铸適用鋼種の拡大をさらに進めていく方針である。

参 考 文 献

- 1) 大森, 前田: 鉄と鋼, 63 (1977), S564
- 2) 前田, 大森, 児玉: 鉄と鋼, 63 (1977), S565
- 3) 藤井, 大橋, 大野, 浅野: 製鉄研究, (1978) 294, 12520
- 4) 平岡, 松永, 大橋, 広本: 製鉄研究, (1978) 294, 12555~12556