

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.28 (1996) No.1

熱延との同期化操業を目指した無欠陥铸片製造技術 -水島第4铸機の建設と操業-

Defects Free Casting Technologies Aiming at Synchronized Operations of Continuous Caster with Hot Rolling Mill -Construction and Operation of the Mizushima No.4 Continuous Caster-

蓮沼 純一(Junichi Hasunuma) 馬田 一(Hajime Bada) 松川 敏胤(Toshitane Matukawa)

要旨：

水島製鉄所では薄板用スラブの品質向上、圧延工程との同期化操業によるリードタイムの短縮、自動化による作業環境の改善を目的のとして、第4連铸機を建設した。第4連铸機は、品質要求の厳格化に應えるため、介在物の浮上分離促進と、スラブ上面側の介在物集積帯を軽減することを目的として、大容量タンディッシュと垂直曲げ型を採用し、電磁力による溶鋼流動制御(FC モールド)と小径分割ロールにより、最大铸造速度 2.5m/min の安定铸造を図った。また連铸工場から加熱炉までは、高温スラブ無人搬送台車で結ばれている。第4連铸機は1993年1月稼動を開始し、その後順調に操業を続けており、高品質薄板用スラブの高能率铸造と熱間圧延との同期化操業を可能にした。

Synopsis：

At Mizushima Works, No4 Continuous Caster was constructed and started its operation in January 1993 with the aims of improving the quality of slabs for manufacturing Steel strip, shortening lead times by synchronized operation of the CC with the rolling process and realizing good working environment by automation. Responding to increasingly stricter product quality requirements, a large-capacity tundish and a vertical-bending caster were adopted in order to promote float separation of inclusions and reduce the size of inclusion-accumulated region at the slab upper surface. Electromagnetic flow control mold (FC Mold) and segmented small-diameter rolls enabled to realize stable production at a maximum casting speed of 2.5m/min.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

熱延との同期化操業を目指した無欠陥鋳片製造技術 ——水島第4連鋳機の建設と操業——*

川崎製鉄技報
28 (1996) 1, 7-13

Defects Free Casting Technologies Aiming at Synchronized Operations of Continuous Caster with Hot Rolling Mill

——Construction and Operation of the Mizushima No.4 Continuous Caster——



連沼 純一

Junichi Hasunuma
水島製鉄所 製鋼部
製鋼技術室長(課長)



馬田 一

Hajime Bada
鉄鋼企画営業本部 鉄
鋼企画部企画室長(部
長)



松川 敏胤

Toshitane Matukawa
千葉製鉄所 プロセス
開発部開発設計室 主
査(課長)

要旨

水島製鉄所では薄板用スラブの品質向上、圧延工程との同期化操業によるリードタイムの短縮、自動化による作業環境の改善を目的として、第4連鋳機を建設した。第4連鋳機は、品質要求の厳格化に応えるため、介在物の浮上分離促進と、スラブ上面側の介在物集積帯を軽減することを目的として、大容量タンディッシュと垂直曲げ型を採用し、電磁力による溶鋼流動制御(FCモールド)と小径分割ロールにより、最大鋳造速度2.5 m/minの安定鋳造を図った。また連鋳工場から加熱炉までは、高温スラブ無人搬送台車で結ばれている。第4連鋳機は1993年1月稼働を開始し、その後順調に操業を続けており、高品質薄板用スラブの高能率鋳造と熱間圧延との同期化操業を可能にした。

Synopsis:

At Mizushima Works, No. 4 Continuous Caster was constructed and started its operation in January 1993 with the aims of improving the quality of slabs for manufacturing steel strip, shortening lead times by synchronized operation of the CC with the rolling process and realizing good working environment by automation. Responding to increasingly stricter product quality requirements, a large-capacity tundish and a vertical-bending caster were adopted in order to promote float separation of inclusions and reduce the size of inclusion-accumulated region at the slab upper surface. Electromagnetic flow control mold (FC Mold) and segmented small-diameter rolls enabled to realize stable production at a maximum casting speed of 2.5 m/min.

1 緒 言

水島製鉄所では薄板用スラブの品質向上、圧延工程との同期化操業によるリードタイムの短縮、自動化による作業環境の改善を目的として、第二製鋼工場にスラブ用2ストランドの第4連鋳機を建設したり。

従来薄板用スラブは、主に湾曲型第5連鋳機で製造し、極低炭素鋼表面厳格材の製造には、種々の操業改善を実施してきたが、操業条件の制約が必要であり、介在物起因による表面欠陥の抜本的な改善が求められていた。これまで溶鋼の清浄化については、溶銑予備処理技術により、転炉での脱硫、脱りん処理負荷を軽減し、溶鋼の低酸素化を達成してきた¹⁾。また、転炉でのスラグカットと取鍋スラグ改質技術²⁾、および、脱ガスでのKTB技術により溶鋼中の酸素を低減することができた³⁾。さらに、断気鋳造⁴⁾と4孔浸漬ノズル⁵⁾による鋳造技術により、溶鋼汚染防止と介在物の浮上を促進した。

しかし、さらなる表面品質の厳格化に対応するには、新たに鋳造から凝固過程における介在物浮上分離の促進策が必要であった。こ

れらの知見に基づき、第4連鋳機の建設にあたっては、介在物の浮上分離促進とスラブ上面側の介在物集積帯を軽減することを目的として、大容量タンディッシュと垂直部3 mを有する垂直曲げ型を採用した。

また高速鋳造のために小径分割ロール及びモールド電磁ブレーキ(FCモールド)により、最大鋳造速度2.5 m/minの安定鋳造を図った。さらに連鋳工場から加熱炉までは、高温スラブ無人搬送台車で結び、トーチ切断、ダレ取り、マーキング、スラブ搬送、加熱炉挿入まで無人化し、熱延との同期化操業を可能にした。

以上のように薄板素材生産体制の強化を図った第4連鋳機は1993年1月に稼働し、その後順調に操業を続けているが、本稿において設備の概要と操業結果について報告する。

2 設備の主仕様と特徴

2.1 連鋳工場レイアウト

第4連鋳工場全体の鳥瞰図をFig. 1に示す。タンディッシュの熱間連続使用を可能とするため、鋳込み床に残鋼滓処理設備とスライディングノズル交換装置を設置している。タンディッシュより地

* 平成8年2月14日原稿受付

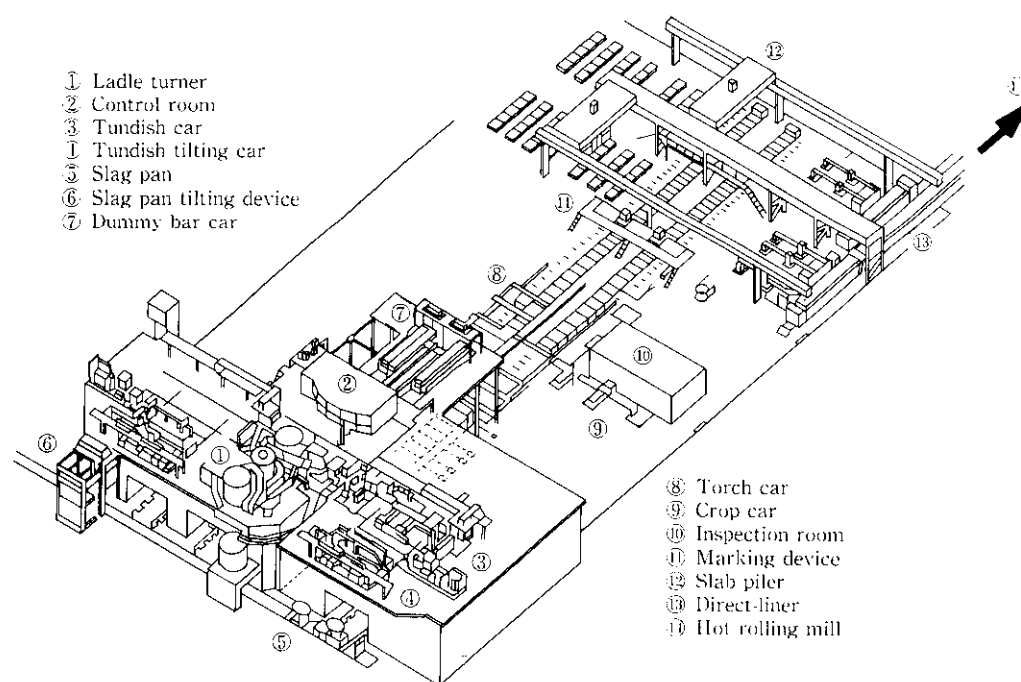


Fig. 1 Schematic layout of 4CC

金を排出されたポットは自動で運搬、処理され、空のポットに次チャンス用の冷材が自動投入され、铸込み床直下の排出位置に帰還する。トーチ後面にはクロップ、サンプル搬送台車があり、オンラインでクロップおよびサンプル切断し、迅速に铸片マクロ検査を実施できる。トーチ切断後のスラブは、オンラインでのダレ取り、秤量、マーキングを経てパイラーおよびサービングスキッドにより高速搬送台車（Dライナー）に積載され加熱炉へ搬送される。

2.2 連铸設備主仕様と特徴

Table 1 に連铸機の基本仕様をまとめた。取鍋交換時間短縮を目的にレードルターレットは独立旋回方式を採用し、タンディッシュ容量は介在物浮上性を考慮し70tとした。連铸機のプロフィールは垂直部3m、7点曲げ、10点矯正の垂直曲げ型であり、機長は45m、最大铸造速度2.5m/minとした。さらに高速铸造に対応するために小径分割ロール、ミストスプレーによる二次冷却方式を採用した。ロールピッチについては、高速铸造時の凝固界面歪を、当社知見に基づく許容値以下に抑制できるものとした。ロールおよびベアリング長寿命化のため、無駆動ロールは2分割化し、駆動ロールについても中央に分割ベアリングを採用している。また固定側には自動調芯、自由側には円筒コロベアリングを採用し、最大铸込幅での静鉄圧に対するベアリングの安全率は4以上を確保している。

オシレーションは機械系の弾性変形による位相遅れを防止するため架構上に固定されたステッピングシリンダーにオシレーションテーブルを直結させる直動方式を採用し、二段に設置した板バネの平行リンク機構により横揺れを防止し、最大400cpmまで可能とした。トーチ切断設備は、4600mmの最短スラブを2.5m/minでも連続して切断できるよう、ストランド当たりトーチ台車2台の構成とした。さらに、オンラインでクロップおよびマクロサンプルを切断するため下流側のトーチ台車は二対のガス吹管を有している。

2.3 タンディッシュ熱間連続使用設備

铸造終了後のタンディッシュはタンディッシュカーで待機位置へ

Table 1 Specifications of 4CC

Heat size	(t)	250
Slab size	(mm)	220×(850~1900)
Machine type		Vertical (3 m) and multipoints bending and unbending
Number of strand		2
Metallurgical length	(m)	45
Maximum casting speed (m/min)		2.5
Ladle turner		Independent two arm type
Tundish		
Capacity	(t)	70
Molten steel depth	(mm)	1100
Mold oscillation		Direct stepping cylinder (max. 400 cpm)
Tundish tilting device		Tilting by hydraulic cylinder
Dummy bar		Top insertion
Secondary cooling		Air mist and variable width device
Roll		Split-roll and intercooling
Torch		2 torch cars and 3 pairs of gas blow pipe per strand

移動後、進入してきた傾転台車により受け取られ、残鋼排出位置へ運ばれ、そこで90°傾転し、残鋼をポット内へ排出する。残鋼排出位置での一連のタンディッシュ準備作業は以下にまとめられる。

- (1) 90°傾転状態で残鋼を排出する。
- (2) スライディングノズル(S/N)交換装置によりS/Nフレート取り外し、上ノズル抜き取り、羽口洗浄、上ノズル取り付け、S/Nプレート取り付けを行う。

(3) 上記工程完了後、タンディッシュカーへ受け渡し、次铸造の準備が完了する。

S/N 交換装置は上記各機能を有する四面体で構成されており S/N メカはタンディッシュに設置し、耐火物だけ取り外す方式となっている⁷⁾。

2.4 自動化機器の構成

高労働生産性の実現を目的として、S/N 交換装置をはじめとするオペレーター作業負荷軽減のための自動化機器の他、熱間圧延の加熱炉までのスラブ搬送を自動化するための機器を導入した。Table 2 にその概要をまとめた。オペレーター負荷軽減については重筋作業、高熱作業からの解放を狙った地金処理設備、S/N 交換装置の他、パウダー供給装置および測温サンプリング装置を設置した。トーチ切断後加熱が装入までの完全無人化を達成するため、クロップサンプル切断用の二対のガス吹管を搭載したトーチ台車とクロップ搬送台車が連動して作動する。オンラインでトーチダレ除去後、秤量、マーキングを経たスラブ、パイラー、サービングスキッドにより D ライナーに積載される。このとき、スラブ積載方法と搬送先についても自動的に決定される。

制御システムは、監視、オペレーションの集中化と情報の共有化一元化を目的として EIC 統合システムを採用した⁸⁾。Fig. 2 にシス

テム構成図を示すが、電気、計装、計算機の各装置が同一ネットワーク上に統合されている。マンマシンインターフェースについては、電気、計装、計算機の情報が同一画面で見ることができ、また機電一体設備の状況監視および操作、FA 計算機の処理結果の監視も本体装置の画面で可能である。このため集中監視、操作が可能になりオペレーターの省力に寄与している。

2.5 スラブ自動搬送設備

Fig. 3 に D ライナーシステムの全体レイアウトを示す。スラブ払出側の 4 連铸搬出口に 2 台のサービングスキッド(SS 1, SS 2)、受取側は 2 分塊工場に手入れ材用のレシービングスキッド(RS 1)、熱間圧延工場に DHCR 用のレシービングトランスファー(RT)と余剰材用のレシービングスキッド(RS 2)、以上の受払い設備に加えて 4 台の D ライナーにより構成されている。したがって、4 連铸—熱間圧延間の DHCR 操業は、SS 1 または SS 2 から RT に D ライナーでスラブ搬送し、直接熱間圧延工場の加熱炉へ挿入することになる。

Fig. 4 に D ライナーの概要図を示す。本設備は積載最大重量 50 t/台 (2 枚/台) で 4 連铸—熱間圧延間約 700 m を 2.5 min で走行する。DHCR の実施対象炉である No. 4 加熱炉の燃料原単位は 200 MJ/t 程度低減された⁹⁾。

Table 2 Summary of automatic devices

Item	Device	Function
Automatic casting operation	Sliding nozzle exchanging device	Removal and attachment of upper nozzle and sliding plate, cleaning of well block
	Mold powder feeding device	Storage, transportation, scattering by screw feeder
	Temperature measurement and sampling device	Handling the continuous temperature measurement probe, automatic sampling
Automatic slab transportation	Crop and sample slab transporting car	Transporting the crop to crop pit and the sample slab to inspection room
	Deburring machine	Deburring by hummer with rotor during slab transporting
	Marking device	Piling and dot type marker
	Slab piler, slab serving skid	Transporting slab from piler table to D-liner
	Direct-liner(D-liner)	No man control at a distance of 800 m

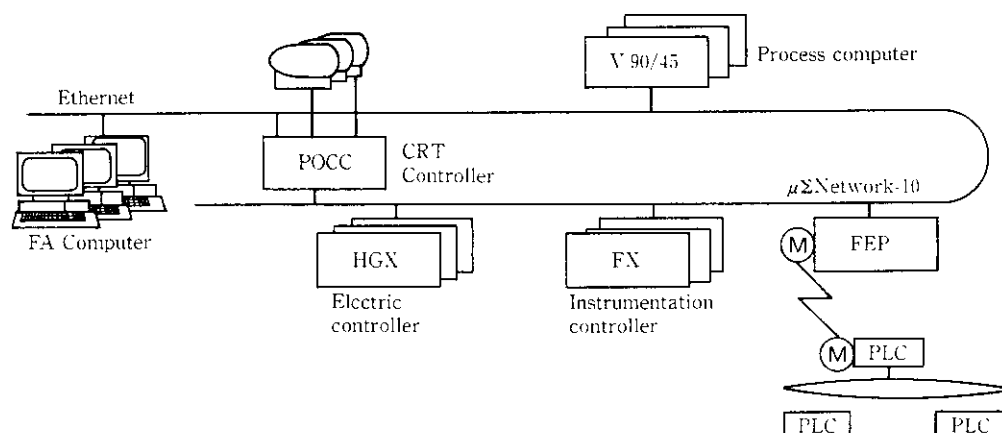


Fig. 2 System configuration

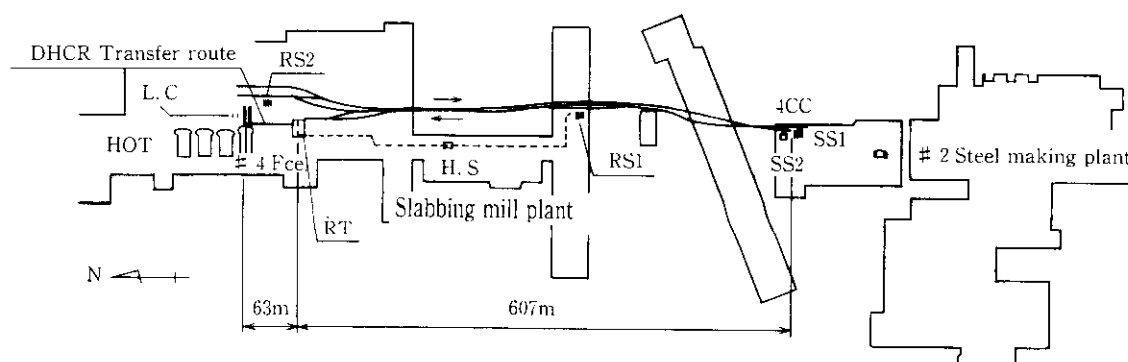


Fig. 3 Layout of D-liner system

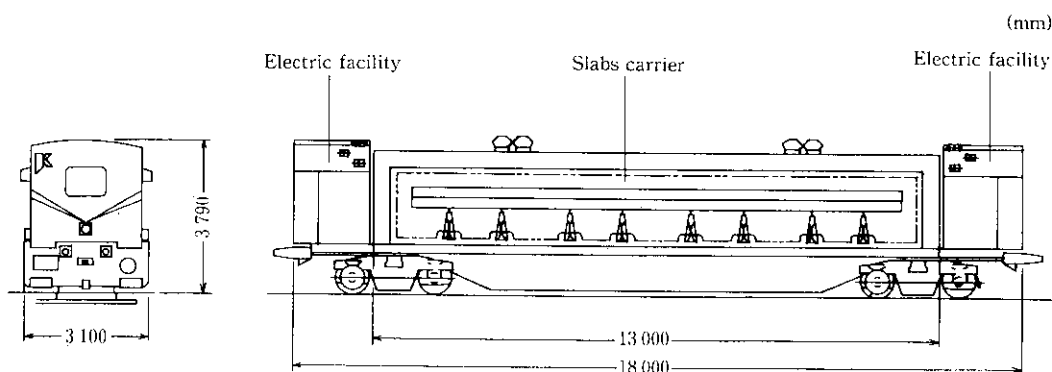


Fig. 4 D-liner

3 操業結果と铸片品質

3.1 タンディッシュ熱間連続使用

4連铸機開始後、タンディッシュ熱間連続使用回数も順調に増したが、使用回数の増加に伴い、タンディッシュ内壁へのスラグと地金の付着積層成長によるタンディッシュ容量低下の問題と酸化した残鋼によるタンディッシュスタートボトム部のアルミナ系介在物による製品欠陥の発生が顕在化した。Fig. 5に稼働初期のタンディッシュ容量の推移を示すが、再使用を繰り返すに従い、タンディッシュ内壁にスラグと地金が付着成長し、タンディッシュ容量は177チャージ铸造後、約50tにまで低下した。地金を取り除いた付着物は、Table 3に示した分析結果から Al_2O_3 が富化したタンディッシュパウダーと取鍋スラグが混合したものであり、排滓性の向上が重要な課題となった。

再使用タンディッシュのスラグ中には、酸化鉄が多量に含まれるため、注入初期にタンディッシュ内にAl滓を添加しスラグ改質することにより、酸化鉄を還元し、T. Feを2%以下にすることが可

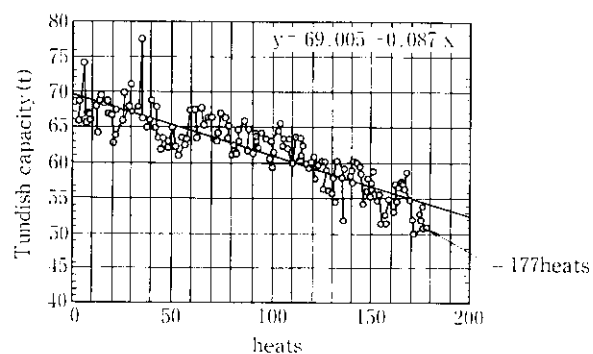


Fig. 5 Change of tundish capacity

能となった。Al滓添加によりスラグ中の Al_2O_3 濃度が増加し、高粘性、高融点となることから、タンディッシュフラックス組成は、Al滓添加後の Al_2O_3 吸収能と排滓性を考慮した $CaO-SiO_2-CaF_2$ 系フラックスを選定した。

注入初期の空気酸化防止を目的として、注入開始前にタンディッ

Table 3 Chemical composition of sticking material in tundish

	Chemical composition (wt%)							
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	Na_2O
Surface layer	18.4	3.5	45.7	1.7	21.1	3.6	3.5	2.6
Middle layer	9.2	2.4	57.0	1.3	19.9	4.1	4.3	2.3
	11.8	2.4	58.6	3.7	14.7	4.1	2.7	2.0
Bottom layer	17.1	1.8	46.2	3.2	23.1	3.3	2.7	2.8

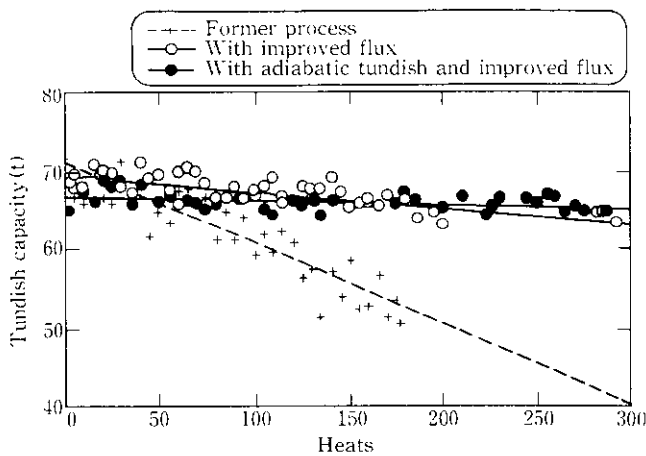
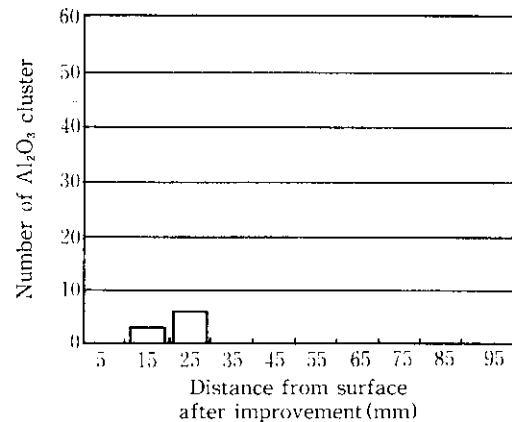
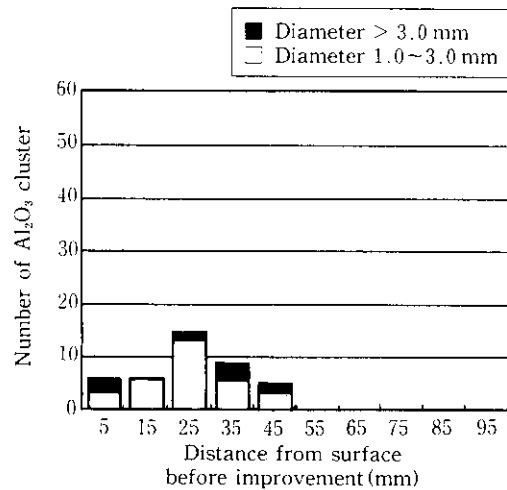


Fig. 6 Change of tundish capacity

シュの完全密閉と Ar 置換を行い、タンディッシュ内雰囲気酸素濃度を 1% 以下にしている。また先に述べたタンディッシュスラグ改質の効果を確実にし、介在物の浮上分離をはかるため、上ノズルとスライディングプレートからガスを吹き込みながら、タンディッシュ溶鋼重量が 50 t になるまで溶鋼を保持した後、鑄造を開始している。

溶鋼の温度低下を防止し、排滓性を向上させ残鋼残滓量を低減することと、待機中のタンディッシュれんがの温度降下の低減を目的として、タンディッシュ鉄皮と永久れんがの間に 30 mm の断熱れんがを施工した。Fig. 6 にこれまで述べた断熱タンディッシュと改良フラックスを使用したタンディッシュの容量推移を示すが、容量の低下は解消され、最近では 300 チャージ以上の連続使用が可能となっている¹⁰⁾。

タンディッシュ熱間連続使用時の最ボトム鋳片を透過 X 線で観察しアルミナクラスター個数を調査した結果を Fig. 7 に示すが、改善後の鋳片はミドル部に近い清浄度であり、最ボトム鋳片でも表面処理鋼板に充当可能である¹¹⁾。

Fig. 7 Distribution of Al_2O_3 cluster

3.2 極低炭素鋼の高効率鑄造

極低炭素鋼の高効率鑄造を達成するため、第 4 連铸機では、大容量タンディッシュ、垂直部 3 m の垂直曲げ型としたのに加えて、モールドには FC モールドを設置した。FC モールド設置の目的を

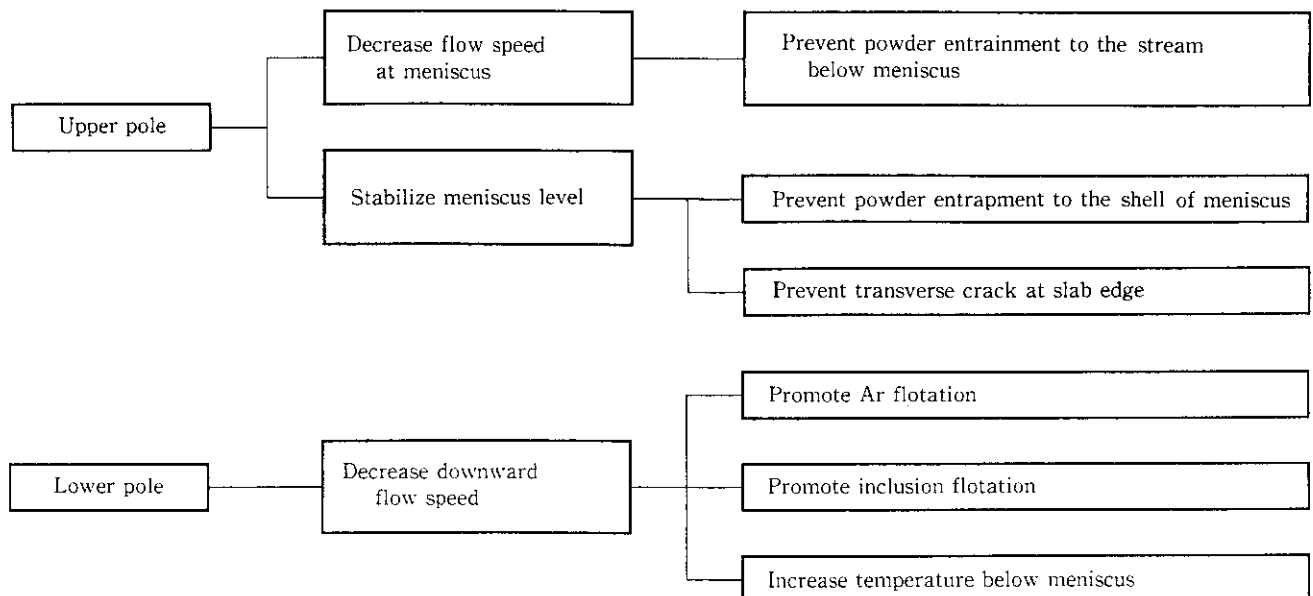


Fig. 8 Aims of flow control mold (FC Mold)

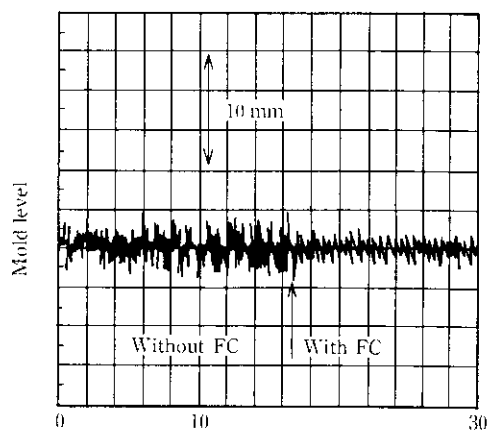


Fig. 9 Effect of FC mold on mold level control

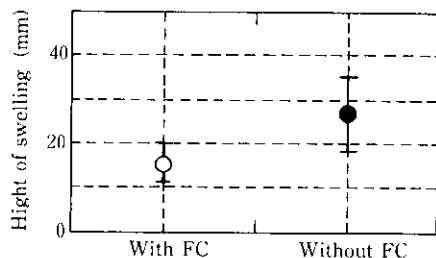


Fig. 10 Comparison of swelling heights

Fig. 8 に示したが、メニスカス流速の減少による湯面レベル変動の抑制と下降流速の減少により、高速鋳造が及ぼす悪影響を排除することにある。Fig. 9 はメニスカス湯面変動への磁場印加の例で、渦流センサーで検知された湯面レベルのチャートである。磁場印加によりモールド内狭面近傍の反転上昇流が減速され、溶鋼湯面が沈静化しているのがわかる。浸漬ノズルからの吐出溶鋼流は狭面近傍の湯面の盛り上がりを引き起こす。この盛り上がり高さは Fig. 10 に示すように磁場印加により 60~70% に減少した。FC モールド採用の結果、高速鋳造時におけるモールドパウダー巻き込みによる表面欠陥の発生を防止できた¹²⁾。

湾曲型連鋳機で問題であった極低炭素鋼の内部欠陥（ふくれ欠陥）は、軟 X 線による欠陥サンプル調査から、Ar 気泡と Al_2O_3 クラスタによることが判明していた¹³⁾。第 4 連鋳機垂直部長さは、実寸大水モデル装置を作成し、気泡侵入深さ、介在物巻き込み率を測定し、最大鋳造速度で Ar 気泡が浮上分離可能な 3 m とした¹⁴⁾。

湾曲型と垂直曲げ型の介在物分布を垣生らの式¹⁵⁾から計算した結果を Fig. 11 に示し、実鋳片のアルミナ介在物分布の調査結果を Fig. 12 に示す。計算結果から推定したようにアルミナ介在物の集積帯は鋳片内部側に移行し、かつその量も減少している。この鋳片内部の気泡介在物分布の改善により、製品のふくれ欠陥は皆無となり、製品の表面品質も Fig. 13 に示すように湾曲型連鋳機に比べ低位である。

3.3 中炭素鋼の高能率鋳造

第 4 連鋳機鋳造量の約 30% は $[\text{C}] \geq 0.08\%$ の中炭素鋼である。中炭素鋼の DHCR を実現するため、内部割れ防止の観点から、小ロールピッチ分割ロールを採用し、表面割れ防止の観点からミストスプレーおよびコーナー幅切りを採用した。以上のマシン設計により、バルジング、曲げ矯正、ミスアライメントによる凝固界面の歪の総和を、内部割れ発生歪限界以下にし、かつ表面割れを防止する

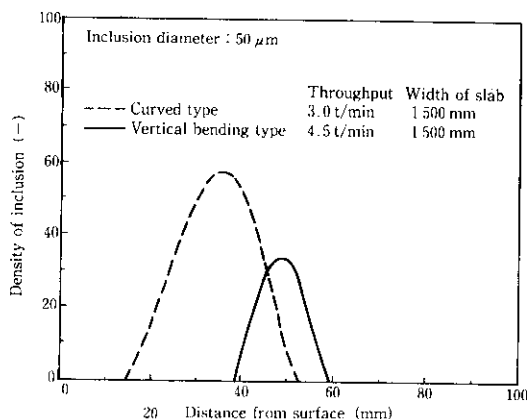


Fig. 11 Distribution of inclusion

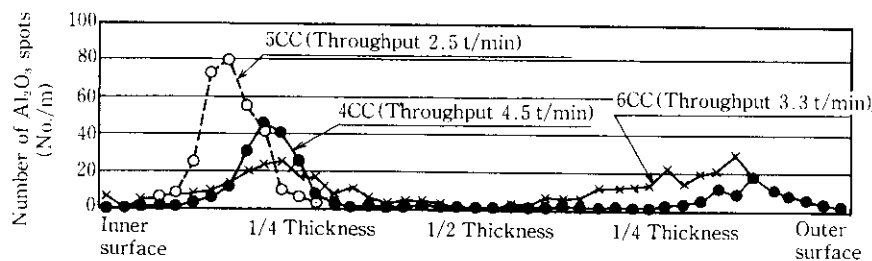
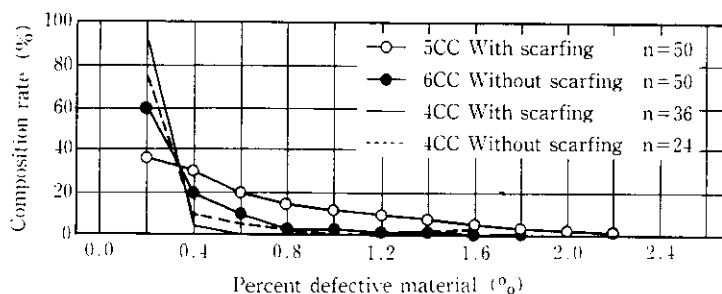
Fig. 12 Distribution of Al_2O_3 spots

Fig. 13 Comparison of percent defective material

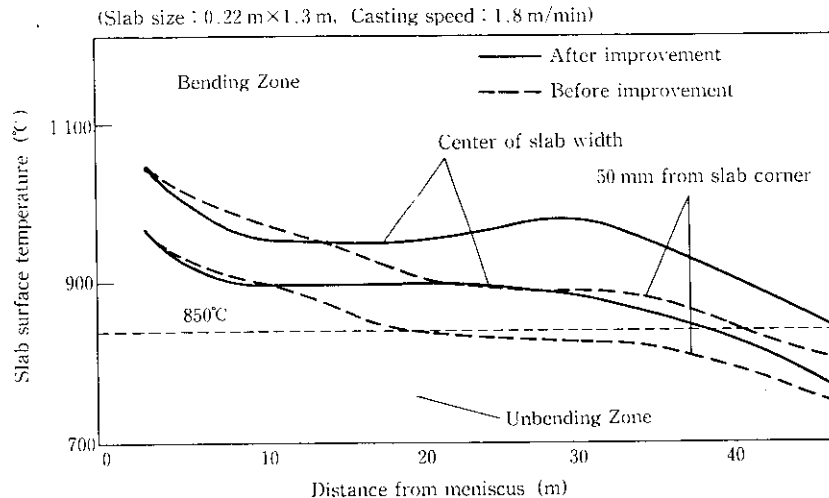


Fig. 14 Slab surface temperature from meniscus

ため鋼片表面温度が曲げ矯正点で脆化温度域を避ける二次冷却パターンを採用することが可能となった。

第4連鑄におけるスラブ表面温度測定結果を Fig. 14 に示すが、スプレー幅切りにより、鋼片コーナー部の表面温度は 900℃ を確保でき、含 Nb 鋼の脆化域 700~850℃ を避けている。この結果、全中炭素鋼の 90% の DHCR が可能となっている¹⁶⁾。

4 結 言

薄板用スラブの品質向上、圧延工程との同期化操業によるリードタイムの短縮、自動化による作業環境の改善を目的として、水島第4連鑄機を建設した。

- (1) 極低炭素鋼の表面品質要求の厳格化に対応し高能率鑄造を可能にするため、大容量タンディッシュ、垂直曲げ型マシンプロフィール、FC モールドなどを採用した。その結果、湾曲型連鑄機で発生していた、ふくれ欠陥は皆無となり、コイル格外欠陥混入率も低減した。
- (2) 中炭素鋼の高能率鑄造については、多点曲げ矯正と小ロールピッチにより、内部割れを防止し、ミストスプレーとスラブ幅に応じたスプレー幅可変方式の採用により、表面割れを防止している。
- (3) 第4連鑄工場と熱間圧延工場は D ライナーで結ばれ、DHCR が可能となり、リードタイム短縮と加熱炉の燃料原単位低減に寄与している。

参 考 文 献

- 1) 馬田 一, 松川敏胤, 後藤信孝, 櫛田宏一, 松井功夫, 油原 晋: 材料とプロセス, 6(1993)4, 1114
- 2) 水藤政人, 相沢完二, 有吉政弘, 永井亮次, 西川 廣, 大宮 茂: 川崎製鉄技報, 22(1990)3, 143
- 3) 須田 守, 末次精一, 蓮沼純一, 水藤政人, 大宮 茂: 材料とプロセス, 3(1990)1, 241
- 4) 横河 浩, 末次精一, 水藤政人, 蓮沼純一, 大宮 茂: 材料とプロセス, 3(1990)1, 240
- 5) 関口 浩, 武 英雄, 後藤信孝, 油原 晋, 川越雅弘, 原 義明: 材料とプロセス, 3(1990)4, 1213
- 6) 斎藤健志, 山崎久生, 野崎 努, 日和佐章一, 小口征男: 材料とプロセス, 2(1989)1, 299
- 7) 油原 晋, 馬田 一, 横河 浩, 松川敏胤: 材料とプロセス, 7(1994)4, 1204
- 8) 刀根 功, 山根 明, 浦上雅彦, 斧田大介, 馬田 一, 三崎規生: 材料とプロセス, 6(1993)4, 1116
- 9) 内田秀史, 菊川裕幸, 小西敏弘, 石川好蔵, 頭山 奨, 松川敏胤, 岡本浩志: 材料とプロセス, 6(1993)5, 1427
- 10) 渡辺好紀, 小山内寿, 蓮沼純一, 馬田 一, 日和佐章一, 山本武美: 材料とプロセス, 7(1994)4, 1201
- 11) 山崎久生, 佐藤道夫, 蓮沼純一, 日和佐章一, 馬田 一, 山本武美: 材料とプロセス, 7(1994)4, 1202
- 12) 山口竜介, 八尋太郎, 小山内寿, 馬田 一, 山本武美, 戸澤宏一: 材料とプロセス, 7(1994)4, 1191
- 13) 佐藤道夫, 吉田雅一, 武 英雄, 山崎久生, 別所永康: 材料とプロセス, 5(1992)4, 1252
- 14) 山崎久生, 蓮沼純一, 日和佐章一, 山本武美, 橋 林三, 戸澤宏一: 材料とプロセス, 6(1993)4, 1115
- 15) 垣生泰弘, 吉井 裕, 北岡英就, 飯田義治, 今井卓雄, 上田典弘: 鉄と鋼, 60(1974)7, 962
- 16) 八尋太郎, 佐藤道夫, 蓮沼純一, 日和佐章一, 馬田 一, 油原 晋: 材料とプロセス, 7(1994)1, 298