

© 1988 ISIJ

技術報告 住金鹿島第3連鋳機におけるホットチャージ ローリングプロセス

吉田 克磨*・木村 智彦*・渡部 忠男*・
三島 健士*・小原 元良*

Hot Charge Rolling Process at SMI Kashima No. 3 Caster

Katsuma YOSHIDA, Tomohiko KIMURA, Tadao WATANABE,
Tateshi MISHIMA and Motoyoshi OHARA

Synopsis :

The establishment of "Hot charge rolling process (HCR)" at No. 3 caster in Kashima Steel Works has led to much higher productivity, energy saving and improvement of material flow. In HCR, cast slabs are directly put into the reheating furnace and after a short time, they are rolled by the hot strip mill. The following technological developments and new systems were implemented; high speed casting technology, high temperature slab discharging technology, technology for width change during casting, slab quality assurance system and production control system.

Since it has started up in June, 1983, HCR has been running satisfactorily. The latest production amount reaches 270 kt/M and the ratio of hot charge rolling, exceeds 80%.

Key words : HCR ; high speed ; temperature ; assurance ; No. 3 caster ; 270 kt/M ; 80%.

1. 緒 言

省エネルギー、物流改善及び省力等の観点より、近年連鋳機と圧延ミルとの直結化が進められている^{1)~3)}。

住友金属工業(株)鹿島製鉄所においても、昭和58年に、第3連鋳機を熱延に直結して建設した。本報では、本連鋳機を軸に開発した独自の「ホットチャージローリング(以下HCRと記す)プロセス」について、報告する。

2. HCR プロセス概要^{4)~6)}

2.1 連鋳・熱延 HCR プロセスと混合圧延

鹿島製鉄所は、熱延ミル1基を保有し、月産30万t以上のコイルを生産している。この熱延ミルとのマッチングを図るため3基の連鋳機からスラブを供給する「混合圧延システム」を採用している。熱延用スラブの約8割は、熱延直結型第3連鋳機から供給し、残りを遠隔の

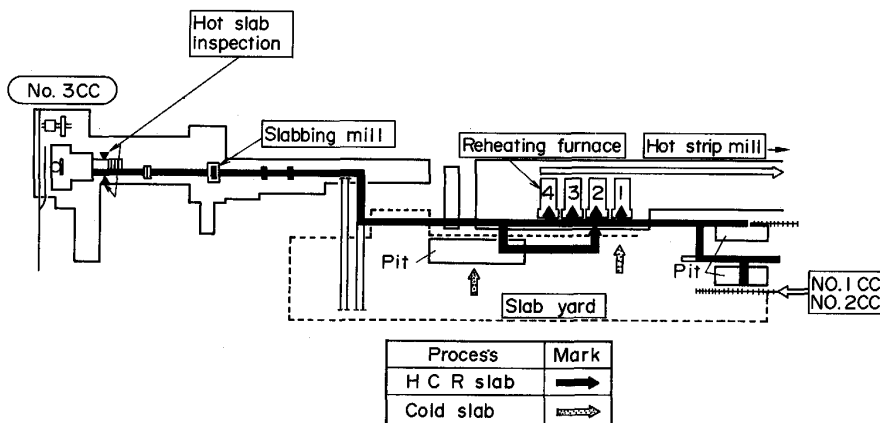


Fig. 1. Direct connection layout for the No. 3 CC and the hot strip mill.

昭和61年10月本会講演大会にて発表 昭和62年10月19日受付 (Received Oct. 19, 1987)

* 住友金属工業(株)鹿島製鉄所 (Kashima Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 3 Oaza-Hikari Kashimamachi Kashima-gun Ibaraki pref. 314)

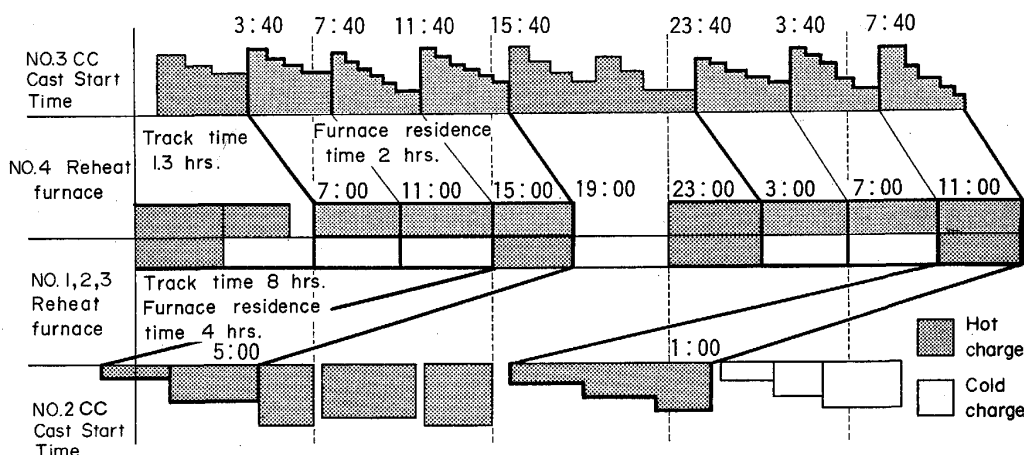


Fig. 2. Example of hot charge (for one day).

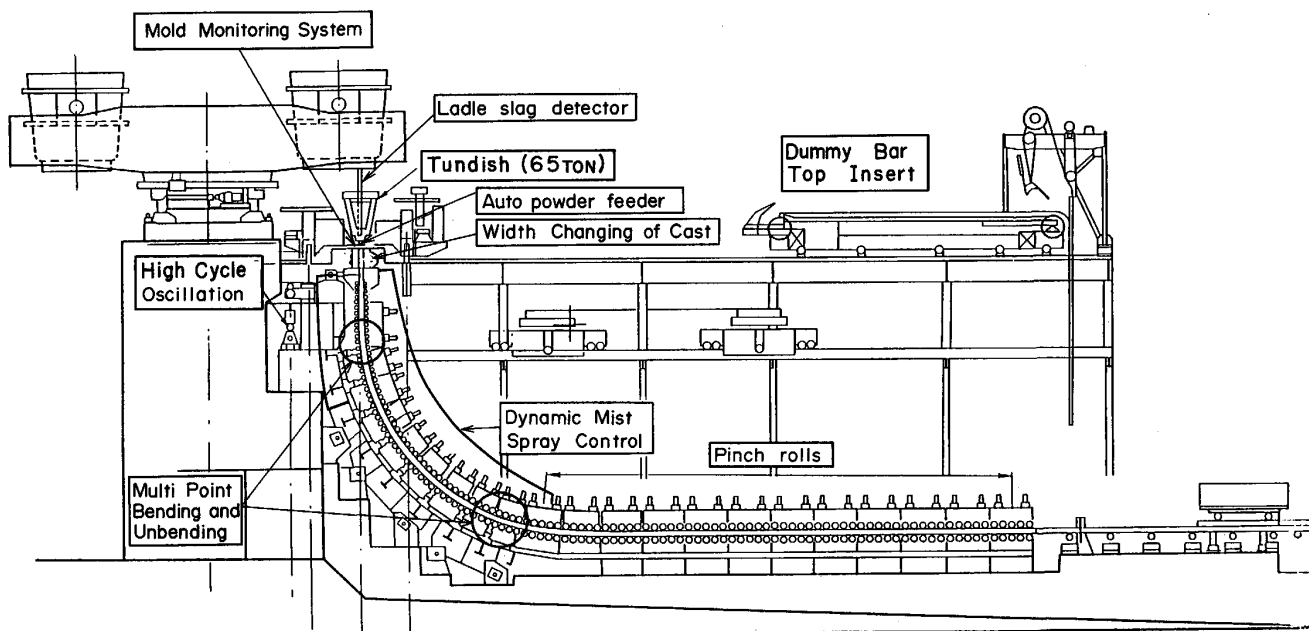


Fig. 3. Features of Kashima No. 3 slab caster.

第1, 第2連铸機から供給している。このような環境の中で、熱延ミルの生産性を損なうことなく、最も効率の良い省エネルギーを図るために、「第3連铸機・熱延HCRプロセス」を開発した。これは、「第3連铸機からの高温铸片をすべて铸造順に専用加熱炉を通過させ、短時間で均熱化を図つた後、圧延に供する連铸・熱延同期化プロセス」であり、加熱炉を使用しない「HDR」とは異なる。本プロセスは、熱延の高生産性確保という観点から考えると、バッファ機能を有する利点がある。

このHCRプロセスは、主として、以下の技術によつて支えられている。

- (1) 連铸生産性向上技術
- (2) スラブ命令幅適中技術⁷⁾
- (3) 品質保証技術

Table 1. No. 3 CCM main specifications.

Steel making furnace	250 t BOF 1 out of 2 furnaces
RH	250 t with heating function
Production capacity (planning)	240 kt/M
CCM type	Concast vertical liquid progressive bending and progressive unbending type
Number of strands	2
Vertical length	3 000 m
Machine length	42.7 m
Minimum radius	10.5 m
Slab dimension	Thickness 270 mm Width 700-1 600 mm Length 6 000-10 050 mm
Tundish	Working level molten steel weight 65 t Working level molten steel depth 1 300 mm
Dummy bar insertion	Top insert
Oscillation	Max. 400 cycles
Casting speed	2.0 m/min

- (4) 混合圧延システム

2.2 第3連铸機設備概要

第3連铸機は、転炉工場からの溶鋼輸送を前提とし、

既存分塊ミルを介して熱延との直結化を図った。このように、連铸と熱延との間に分塊ミルを有する点に大きな特徴がある。Fig. 3 及び Table 1 にマシンの主仕様を示す。

この分塊ミルは、連铸の铸込中幅替により発生する幅変動スラブ（以下テーパースラブと記す）を加熱工程なしで、一定幅スラブにサイジングし、熱延工程に供給するために活用される。幅サイジングは、最大 250 mm まで可能である。

3. HCR プロセスを支える技術

3.1 連铸生産性向上技術

3.1.1 高速铸造

直結化における重要な課題は、生産能力の高い熱延ミルに連铸機をいかに効率よく同期させるかということである。これを達成するには、高速铸造安定化技術が不可欠である。

第3連铸機(270 mm 厚スラブ)では、低炭材 2.0 m/min, 中炭材 1.6 m/min の高速铸造を実施しており、これは以下の技術に支えられている。

(1) モールド湯面レベル制御

高速铸造におけるモールド湯面レベル制御は、操業および品質の安定化という観点で重要であり、以下の独自技術が開発適用されている。

① スライディングノズル（以下 S. N と記す）油圧シリンダーの直接制御

Fig. 4 に直接制御の概要を示す。S. N のワークシリンダー内部で摺動プレートの位置を直接検出し、プレートの開閉および、注入量を制御する。

② S. N 油圧シリンダーの加振制御

S. N のワークシリンダーを常時、ある一定周期で振動させ油圧応答性遅れを改善する。

③ 加振条件のオートチューニングシステム

Fig. 5 にオートチューニングシステムの概要を示す。S. N カセットは熱影響により接触抵抗が変化し、制御に変化が生じる。これに対処するため、S. N 開度信号

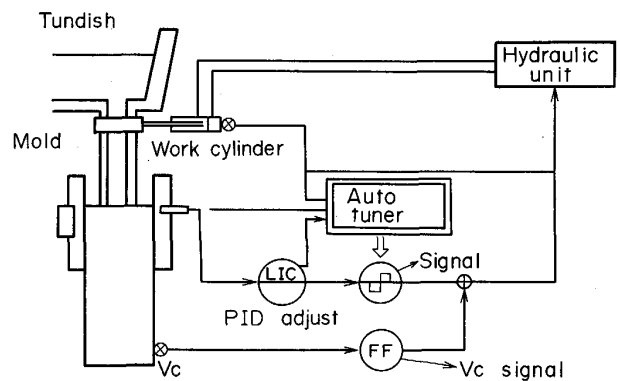


Fig. 5. Auto tuning system of molten steel level in CC mold.

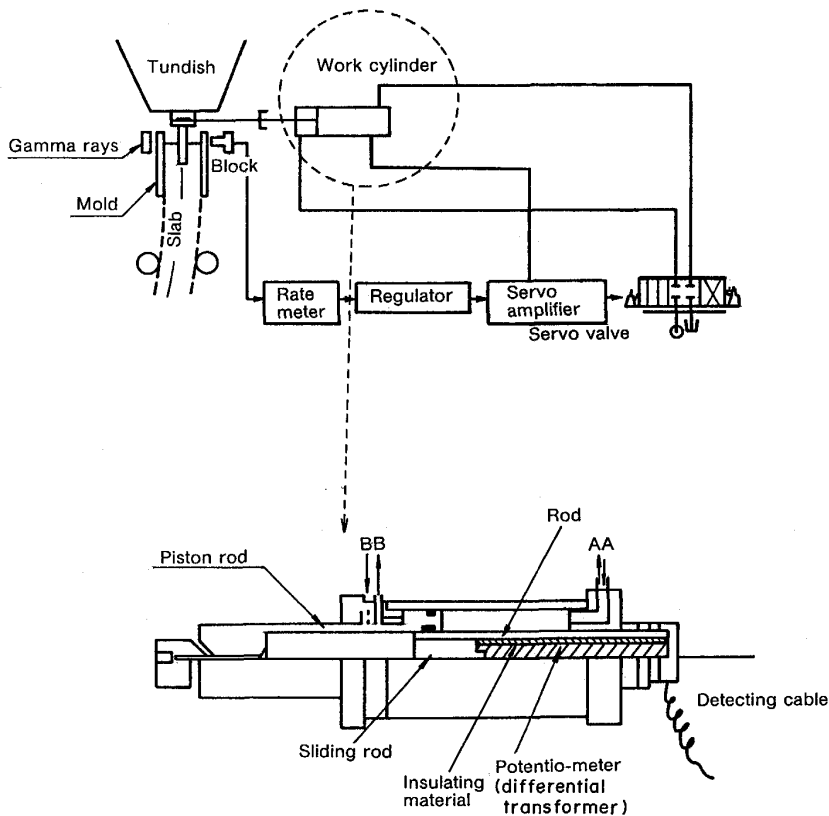


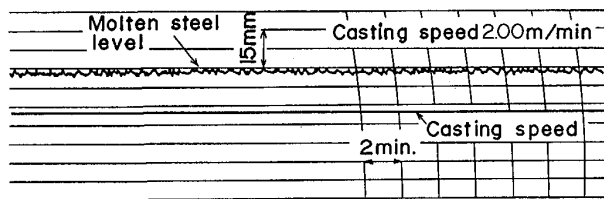
Fig. 4. System block diagram of direct control of work cylinder and cylinder structure for tundish sliding gate.

波形を評価し、加振の振幅、周期を自動的に調整し、湯面レベルを安定化する。

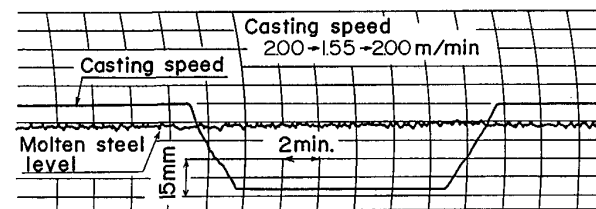
④ 铸造速度フィードフォワード制御

铸造速度（以下 V_C と記す）と S. N 開度の間には、ほぼリニアな関係が存在する。従つて V_C の変化に応じて、強制的に S. N 開度を变化させ、フィードフォワード制御を付加することにより、制御の応答遅れ防止が可能となる。

以上の組合せ技術により、Fig. 6 に示すように、種々



(a) Molten steel level at constant casting speed



(b) Molten steel level during varying casting speed

Fig. 6. Result of mold level control.

の铸造速度及び速度変化においても、優れた制御性を、常に安定して得ることが可能となった。

(2) ミストスプレーダイナミック制御⁹⁾

種々变化する铸造条件においても、高品質高温出片を維持する必要がある。このために二次冷却の制御精度向上が重要であり、以下に示すミストスプレーを基本にしたダイナミック制御を開発した。本制御は、水制御を主に、それに空気制御を従属させる方式である。

i) 制御フロー

Fig. 7 に制御フローの概要を示す。スプレーダイナミック制御は、

- ① 連铸機内を 500 mm ピッチにポイントを定めそのポイントでの铸片の含熱量の計算
- ② ポイントから各制御点（機内を 4 分割にし、その最下流位置）までのスラブ温度の予測計算
- ③ 制御点の計算温度と目標温度が等しくなる最適水量の算出を行い、流量調整するものである。

また、光高温計により各制御点で铸片表面温度を連続測定し、スプレーダイナミックシステムの管理を行っている。

ii) 伝熱モデル¹⁰⁾

スラブ厚方向 5 分割の一次元差分方程式を用いており基本式を(1)~(3)式に示す。

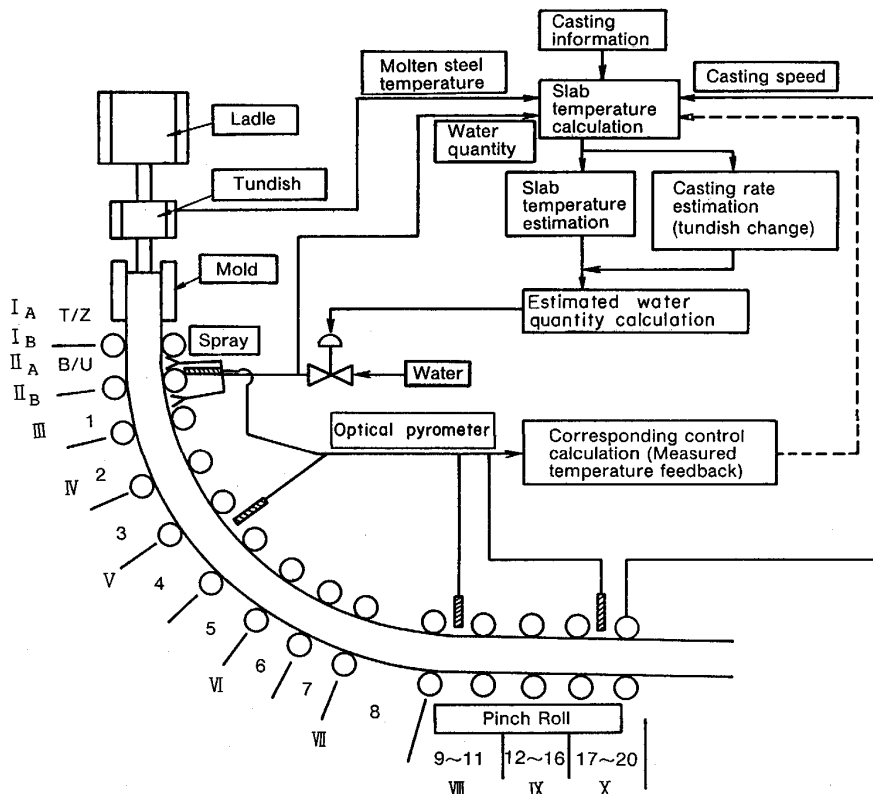


Fig. 7. Dynamic control system of secondary cooling.

Table 2. Heat transfer coefficient.

Area	Heat tranfer coefficient h (kcal/m ² h°C)		(*1)
(i) Mold	Const.		
(ii) Cooling grid	$\alpha \cdot W + \beta$		
(iii) Zone A ^(*1)	$10^{1.48} \cdot W^{0.6293} \cdot \theta^{-0.1358} \cdot V_a^{0.2734} \cdot Z$		
(iv) Zone B ^(*1)	$(h \text{ value at zone A}) \cdot Ch \cdot Z$		
		W : Water density θ : Slab temp. V_a : Air speed Z : Influential coefficient α, β, Ch : Const.	

$$H'_i = H_i + \Delta t(Q_i - Q_{i+1}) / \rho \Delta x \quad (i = 1 \sim n) \dots\dots (1)$$

$$Q_i = K_i(\theta_{i-1} - \theta_i) / \Delta x \quad (i = 2 \sim n) \dots\dots (2)$$

$$Q_i = h \cdot (\theta_w - \theta_i) \quad (i = 1) \dots\dots (3)$$

H_i : 含熱量, ρ : 比重, Q_i : 流入出熱量, Δx : メッシュ点間距離, θ_w : 水温 (気温), h : 熱伝達率, Δt : 時間きざみ, K_i : 熱伝導率, θ_i : メッシュ点での材料温度, n : メッシュ数

また, 熱伝達モデルを, Table 2 に示す.

iii) 空気量制御方法

Fig. 8 に, 使用ノズルの水空気混合流量特性の模式図を示す. 図内破線は, ミストの良好な状態を示す液滴径 150 μm 以下を保つための下限気水体積比を表す. こ

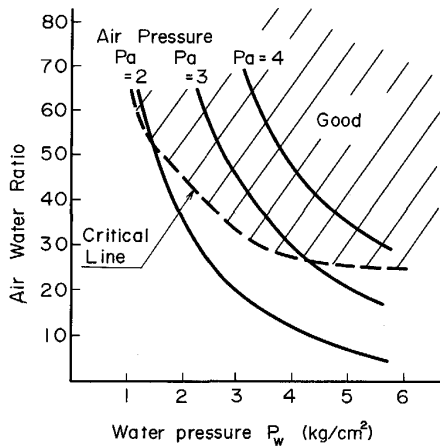


Fig. 8. Relation between water pressure and air water ratio.

れによると, 水圧 (水量) が小さくなるに従い, 気水比を大きくとる必要がある. 従つてある水量を境に, 以下の2種類の考え方で空気量を制御している.

$$q_w \geq Q_w \quad q_a = C \cdot q_w \quad (\text{気水比一定})$$

$$q_w < Q_w \quad q_a = C \cdot Q_w \quad (\text{空気量一定})$$

q_w : 水量, q_a : 空気量, Q_w : 定数, C : 気水体積比

Fig. 9 に, スプレーダイナミック制御と通常制御の比較を示す. 鑄造速度変動においても, スプレーダイナミック制御を行うことにより, 一定温度出片操業が可能となつた.

(3) ノーマンキャストイング

操業, 品質両面において, 自動化の効果は, 非常に大きく寄与しており, 非定常時の若干の作業を除いて, 中央操作室内での監視のみで可能な「ノーマンキャストイング」を実施している. 以下に個々のノーマンキャストイング技術を列挙する.

- i) レードルスラグ自動検知システム
- ii) モールドモニタリングシステム
- iii) パウダー自動供給システム
- iv) オートスタート, ストップシステム
- v) 鑄込中自動幅替システム
- vi) B. O 予知システム
- vii) トラブル対処機能の自動化システム
- viii) トーチ自動切断システム

これら種々のノーマンキャストイング技術の確立により, 鑄込みスタート時も含め, 作業ばらつきによるトラ

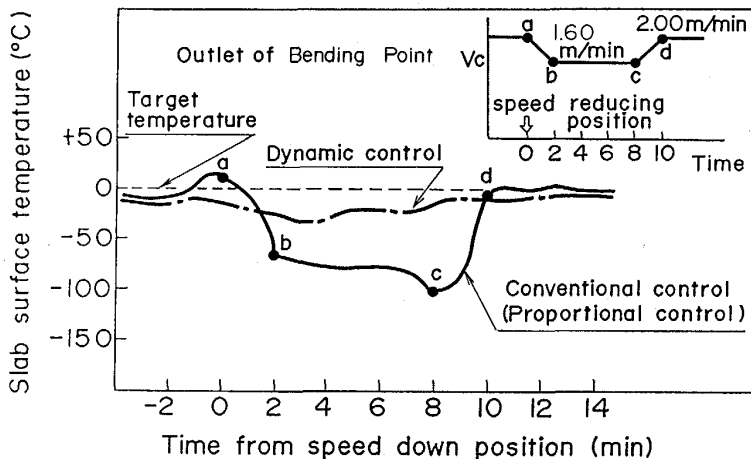


Fig. 9. Effect of dynamic control of secondary cooling intensity.

ブルは無く、安定操業に寄与している。また、品質面においても、ボトム、トップ等の非定常スラブの熱片化に大きく寄与している。

3.1.2 マシン過剰負荷抑制操業

連铸機の高生産性を安定して維持するためには、上述の技術に加えて、マシンを「適正状態」に保持するための努力が必要である。この考え方に従い、「マシンにかかる過剰な負荷を軽減する操業」を指向して成果を上げている。

(1) 特殊連铸中止操業

第3連铸機の操業は、圧延直結型連铸機であるため、無欠陥铸片をタイムリーに熱延へ供給することが前提となる。このため、铸造速度をいつたん、零にして、再度スタートするような特殊連铸（タンディッシュ交換、異鋼種連铸）は、ロールへの過負荷の観点から好ましくないため、採用せず、通常のダミーバースタート操業を基本とした。この結果、設備は常に「適正状態」にあり、無欠陥铸片を安定して熱延ミルに供給することが可能である。

(2) 引抜中铸込開始操業

現在、準備時間は、Fig. 10 に示すように、月間平均 12 min（最短 9 min）である。これは、引抜中铸込み開始システムの開発による効果であり、概要を Table 3 に示す。マシン内の前キャストチャージ、ダミーバー、後キャストチャージの3部位を同時に制御し、前キャストチャージ铸片の引抜きを中断しないで、ダミーバーの挿入、シール作業を行い、準備時間の短縮を図るものである。

このシステムを支える要素として、以下のものがある。

- 1) 駆動ロール制御群の細分化
- 2) 高精度な制御システム
- 3) ダミーバー挿入速度制御技術

以上の準備時間短縮化技術の開発により、铸造時間率は高まり、高生産性に大きく寄与している。

3.2 スラブ命令幅適中技術

3.2.1 铸込み中自動幅替⁵⁾⁶⁾

Fig. 11 に幅替スラブのテーパー率 (V_m/V_{C2}) に対する幅替時の短辺冷却水温度上昇量 α の関係を示す。ただし、

Table 3. Concept of "Casting start during draw out".

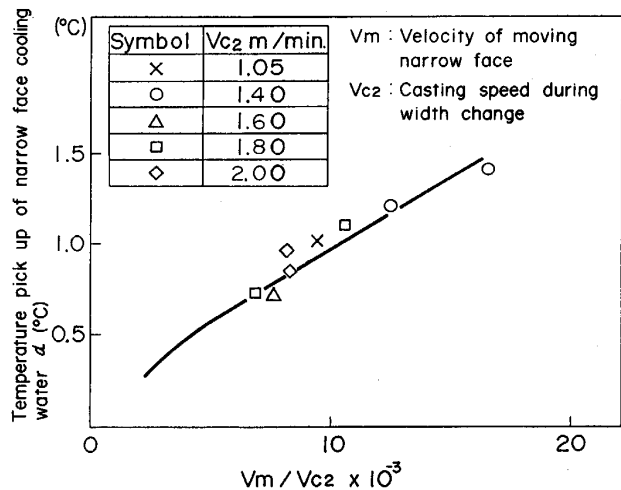
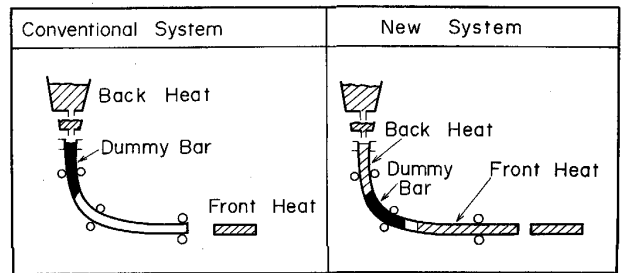


Fig. 11. Change in cooling water temperature of narrow face of the mold during various width change operations.

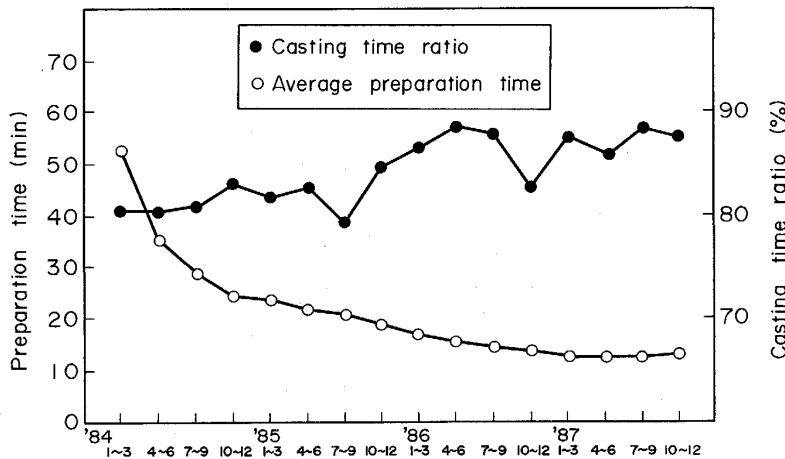


Fig. 10. Transition of casting time ratio and preparation time.

V_m : モールド短辺移動速度

V_{C2} : 幅替中の鋳造速度

図中の α は、幅替によつて生じたスラブとモールドとの接触負荷の増加状態を表す。 V_m/V_{C2} が小さいほど、スラブとモールドの接触負荷は軽減されて、定常状態に近くなり、拘束性ブレイクアウトの危険性が小さくなると予測できる。

したがつてテーパ長を許す限り（1スラブ内にテーパ部を収める）、 V_m を抑え、 V_{C2} を増加する方向を指向した。これにより、2.0 m/min の高速鋳造下で、非常に安定した幅替が可能であり、月間の幅替回数も1600回以上の頻度に至っている。

3.2.2 テーパースラブの処理

上記幅替により、発生したテーパースラブ及び発生余剰スラブは、プロセスコンピューターの指示により、分塊ミルにてサイジングが行われる。これにより、テーパースラブ、幅余剰スラブは、すべて、通常の一定幅スラブと同様に、HCR スラブとして、熱延への供給が可能である。

3.3 品質保証技術

第3連鋳機においては、鋳片内部品質を保証するため迅速サルファープリントと鋳片表面品質を保証するため熱間探傷を実施している。

(1) 迅速サルファープリント

トーチ出側にて、スラブサンプルを採取し、研磨後、サルファープリントが判明するまでの所要時間は30 min 以内である。従つて該当キャストの内部品質は、そのキャスト鋳造中に把握することが可能である。

(2) 熱間探傷

現在、マシン出側に光学式熱間探傷装置を設置し、中炭材の縦割れをチェックしている。本装置は、熱延材で有害と考えられる長さ100 mm 以上の縦割れを検出する能力があり、画像処理し、オペレーターへ疵長さ、発生

位置、頻度等の情報を提供している。また微細な横割れ系統の疵をチェックする目的で、渦流式熱間探傷機を開発中である。

以上の品質保証技術と、前述した種々の無欠陥鋳片製造技術の効果により、下工程での材料疵たとえば、冷延のスリーパー疵原因による格落は、半減した。

3.4 直結化システム¹²⁾

直結化システムの課題として、以下のことが挙げられる。

- i) 複数工程にまたがる操業計画の同期化
- ii) 円滑な物流管理・操業監視
- iii) 品質、操業異常時のダイナミック調整
- iv) 管理の効率化のための情報網の構築

これらを実現するために以下のシステムを完成した。なお、詳細については、別報に記載しており、ここでは概要を記述する。

各部署に配置した端末機器とプロセスコンピューターを光ネットワークで結合し、前工程の操業実績などを正確に把握し、次工程への操業指示へ反映させ、円滑な物流管理及び、操業監視を行つている。

また、スラブの適格性判定及び、振当を自動的に行い、余剰スラブを減少させている。

これらの全体的なシステムにより、円滑な HCR プロセスが行われ、連鋳・熱延共に、高生産性を維持している。

4. HCR プロセスにおける生産状況とその成果

以上に述べた種々の統合技術により、以下に示す操業品質面に安定した生産体制を確立した。

操業面では、定常鋳造速度 2.0 m/min (スラブ厚 270 mm)、幅替中の鋳造速度 2.0 m/min、月間平均準備時間 12 min (最短 9 min)、生産量約 270 kt/月など安定した高能率生産体制を確立した。

品質面では、Fig. 12 に示すように熱片比率 80% 台

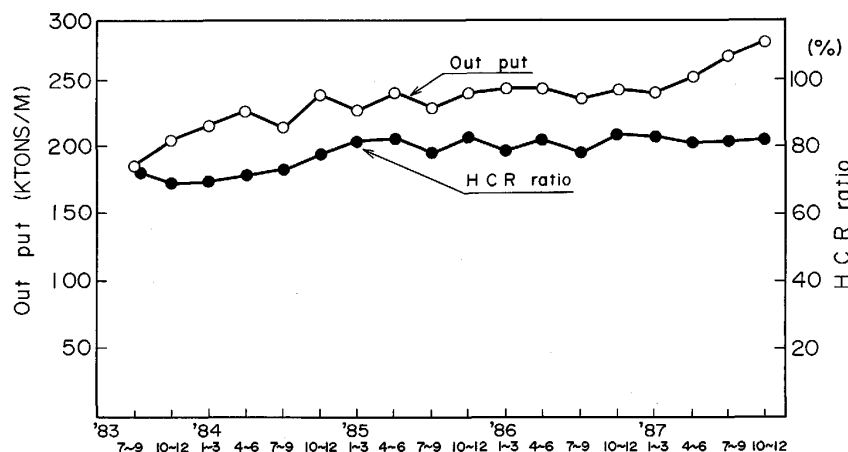


Fig. 12. Operational results of No. 3CC.

の達成など無欠陥铸片製造体制を確立した。

更に幅替回数 1600 回/月の実施とテーパースラブの分塊サイジング, 加えて綿密な生産管理システムにより, HCR 量も 220 kt/月を越え, 順調な操業を行っている。

5. 結 言

鹿島第3連铸機により, 鹿島製鉄所の連铸比率は, 97%以上に拡大され, これを軸に開発した HCR プロセスも稼動以来順調な操業を続けている。

その結果, 各プロセスの生産性を向上させ, 顕著な品質向上, 歩留り向上, 省エネルギー効果を上げている。

文 献

- 1) 田中 功, 椿原 治, 本多通保, 船津勝海, 山川 洋, 久保田守彦: 鉄と鋼, **67** (1981), S926
- 2) 小野修二郎, 斉藤 実, 吉田義信, 鈴木功夫, 手塚英男, 川高寛明: 鉄と鋼, **68** (1982), S 1010
- 3) 小谷野敬之, 寺田 修, 内田繁孝, 和田 勉, 田口喜代美, 小島達雄: 鉄と鋼, **71** (1985), S 156
- 4) 多賀雅之, 小林隆衛, 木村智彦, 山下幹夫, 野下果平: 鉄と鋼, **70** (1984), S 180
- 5) T. UEDA, M. TAGA, T. KOBAYASHI, T. KIMURA, T. HAMANA and M. YAMASHITA: *Revue de metallurgie*, **82** (1985), p. 243
- 6) T. UEDA, M. TAGA, T. KOBAYASHI, T. KIMURA, T. HAMANA and M. YAMASHITA: *Steel Times*, **213** (1985), p. 215
- 7) 堤 一彦, 尾野 均, 二宮健喜, 大橋 渡, 天満雅美, 椿原 治: 鉄と鋼, **71** (1985), S 147
- 8) 鶴田 毅, 木村 隆, 向後考生, 中村雅広, 白石行隆: 鉄と鋼, **71** (1985), S 152
- 9) 木村智彦, 山下幹夫, 川崎守夫, 相馬正幸, 米川和夫: 鉄と鋼, **70** (1984), S 994
- 10) 川崎守夫, 渡部忠男, 浜名孝年, 中島敬治, 高島啓行, 播木道春: 鉄と鋼, **69** (1983), S 168
- 11) 加藤 滋, 相馬正幸, 山下幹夫, 米川和夫, 吉野和紀, 西山真次: 鉄と鋼, **70** (1984), S 181
- 12) 安田秀一, 谷本善男, 北野利光, 長能正男, 大述武夫, 水田勝則: 鉄と鋼, **70** (1984), S 356