

討10 ダイレクトチャージプロセスにおける連鑄技術の改善

住友金属工業(株) 鹿島製鉄所 吉田克磨 木村智彦
渡部忠男 ○吉原佳久次

1. 緒言

省エネルギー、品質、歩留向上、省力、物流等で優位性の高い連鑄法は石油危機以降著しく発展し、日本の連鑄比率は90%以上に達している。更に連鑄-圧延工程を直結化しその優位性の向上を図っている。このような状況下で当所においては新連鑄機であるNo.3 CCを建設するに当たり高能率かつ熱延ミルとの直結同期化操業を前提とし、既設の分塊ミルを有効活用する方法を採用した。従って、そのレイアウトはNo.3 CC-分塊ミル-熱延ミルを1ライン上に配列させている。本No.3 CCはS58年6月に稼動し高能率鑄造の下で現在240KT/M、熱片比90%（内ダイレクトチャージ比率60%）の直結同期化操業を安定して行っており大きな効果を挙げている。

本稿では当所のダイレクトチャージプロセスを支える連鑄技術の改善について報告する。

2. ダイレクトチャージプロセスの考え方

連鑄-熱延ミルの直結同期化プロセスとしてスラブをエッジヒータ等で加熱しそのまま熱延するいわゆる「ダイレクトロール法」に対し、当所では次の観点より直接加熱炉に装入する「ダイレクトチャージ法」を採用している。そのスラブフローを図-1に示す。

- (1) 小ロット多品種化に対応しつつ連鑄-熱延ミル共にフル稼動させる。
- (2) スラブの供給は複数の連鑄機より行う。（熱延1ミル能力>連鑄1マシン能力）
- (3) 上記より圧延スケジュールは複数連鑄機より供給されるスラブの混合圧延とする。

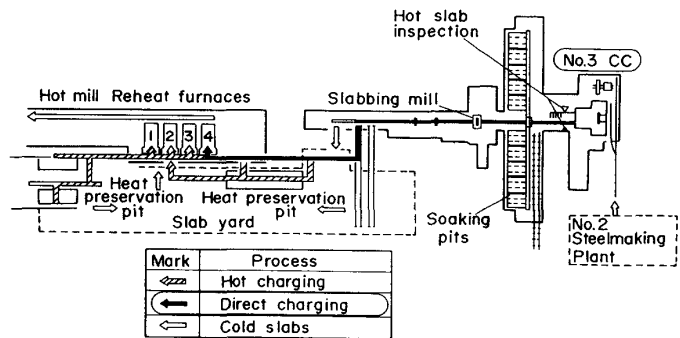


Fig. 1 Direct connection layout for the No.3 CC and the Hot Mill

3. No.3 CCの特徴

表-1にNo.3 CCの主仕様を示す。

本No.3 CCはダイレクトチャージプロセスを支えるため次の特徴を具備している。

- (1) 高速鑄造に対する介在物低減対策として大型TD、VB型CC、全量RH処理等の実施。
- (2) モールド湯面レベル制御用ワークシリンダの直接制御、ショートストロークハイサイクルオシレーション、ミストノズル、小ロールピッチの採用による品質向上対策実施。

Table 1 No.3 CCM Main Specifications

Steel making furnace	250T BOF 1 out of 2 furnaces
RH	250T with heating function
Production capacity	240 KT/M
CCM type	Concast vertical liquid progressive bending and progressive unbending type
Number of strands	2
Vertical length	3,000 mm
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

- (3) プロコン, ビジコンの大巾な活用による自動化の採用。
- (4) 分塊ミルによるスラブサイジングの実施。

4. ダイレクトチャージプロセスを支える連铸技術

本プロセスを円滑かつ効率的に実行するには次の4点の技術確立が必要である。

- 1) 無欠陥铸片製造技術
- 2) 高温出片技術
- 3) 铸片巾替技術
- 4) 安定操業技術

これらの技術改善の概要を以下に述べる。

4-1 無欠陥铸片製造技術

1) モールド湯面レベル制御の改善

モールド湯面レベルの変動が大きいほど冷延コイルのスリバー疵発生率が高くなることが知られている¹⁾。そこでモールドの湯面レベル安定化を目的としてタンディッシュスライディングノズル(TD-SN)ワークシリンダ-の直接制御, スライディングノズルの加振法及び加振条件のオートチューニング法を開発した。

A. TD-SNワークシリンダ-の直接制御

従来TD-SNの開閉制御は位置検出用のポテンシヨシリンダ-を介してワークシリンダ-の制御を行う方式であったが油圧の内部リーク又は油圧ホ-スの伸縮等の影響で制御性が劣っていた。この対策として図-2に示すようにワークシリンダ-内部に位置検出装置を設けワークシリンダ-を直接制御する方式を採用した。

B. SNの加振法

上記対策においてもSN板摺動部の摩擦抵抗増加時は湯面レベルの変動が大きくなる。この対策としてSNの加振法を開発し, SN板の摩擦抵抗を減少させシリンダ-の追従性を高めている。

C. 加振条件のオートチューニング機能

更にSNカセットのガタ及び熱変形等により制御性が悪化する事がある。この改善として加振条件のオートチューニング法を開発し優れた制御性を安定して得ることが可能となっている。

これらの開発により高速铸造下($V_c = 1.8 \sim 2.0$ m/分)においても ± 1.5 mmの優れたレベル制御が得られている。その実施例を図-3に示す。

2) ショートストロークハイサイクルオシレーションの採用
オシレーション深さを浅くする(ネガティブ時間を小さくする)とスリバー疵が減少することが知られている²⁾。(図-4)

この結果を踏まえNo.3CCのオシレーション条件はショートストロークハイサイクルとしスリバー疵の低位安定を図った。

3) 大型タンディッシュ(TD)と垂直曲げ(VB)タイプCCの採用

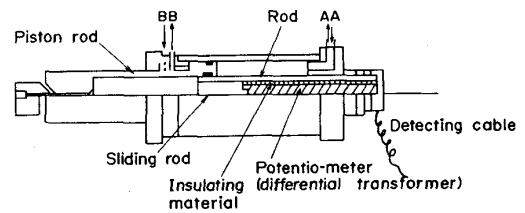


Fig.2 System Block Diagram of Direct Control of Work Cylinder and Cylinder Structure

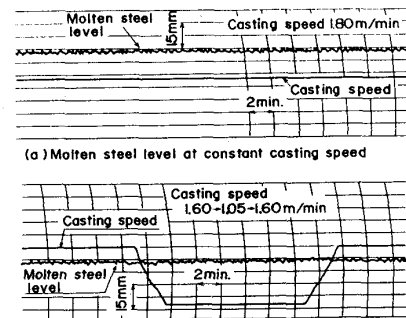


Fig.3 Result of mold level control

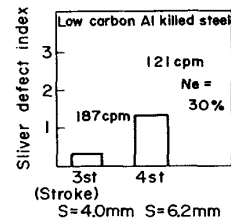


Fig.4 Sliver amount for each strand (No.2 CC)

A. 大型TDの効果³⁾

TD内の介在物浮上時間の確保と温度低下防止を目的としてワーキングレベルの溶鋼重量65T、溶鋼深さ1,300mmの大型TDを採用した。その効果を図-5に示すが、スライム法によるスラブ内の50^{μm}以上の介在物個数は半減している。

B. 大型TD+VBタイプCCの効果³⁾

3mの垂直部を有することにより図-6に示すように表皮下0~50mm間の介在物は著しく低減している。またこの介在物分布についてモデル計算を行いスライム法で調べた実測値とよく一致することを確認した。

4-2 高温出片技術

1) ミスト冷却ダイナミック制御⁴⁾

ダイレクトチャージプロセスにおいては種々変化する鑄込条件下でも高温出片化を図る必要がある。このためには二次冷却の制御精度向上が重要でありミスト冷却ダイナミック制御を開発し適用している。伝熱モデルは1/2厚スラブ厚方向5分割の1次元差分方程式を用いており基本式を(1)~(3)に示す。

$$Hi' = Hi + \frac{\Delta t}{\rho \Delta x} \cdot (\theta_i - \theta_{i+1}) \dots\dots\dots (1)$$

$$Qi = \frac{ki}{\Delta y} \cdot (\theta_{i-1} - \theta_i) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q1 = h \cdot (\theta_w - \theta_1) \dots\dots\dots (3)$$

(Hi : 含熱量, Qi : 流入出熱量, Δt : 時間間隔)
(θ : スラブ温度, ki : 熱伝導率, h : 熱伝達率)

熱伝達モデルとして表-2に示すような各領域の熱伝達率式を用いた。ミスト冷却の空気による冷却効果は空気流速Vaにて評価し、これを実測の空気量から推定できるようにプログラムしている。このダイナミック制御の適用により図-7に示すように鑄造速度の変化に対しスラブ温度の低下が防止できている。

4-3 鑄片巾替技術

A. 鑄込中自動巾替

図-8に Vm/Vc2 (巾替スラブのテーパ率を表わす) に対するスラブとモールドの接触状態の関係を示す。

(Vm : モールド短辺移動速度 (片側))
(Vc2 : 巾替時の鑄造速度)

図中のαは巾替時のモールド短辺冷却水の温度上昇量を意味するもので、巾替によって生じるモールドへの接触負荷を表わす。これによると Vm/Vc2 が小さいほどスラブとモールドと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。従ってテーパ長の許す限り (1スラブ内にテーパ

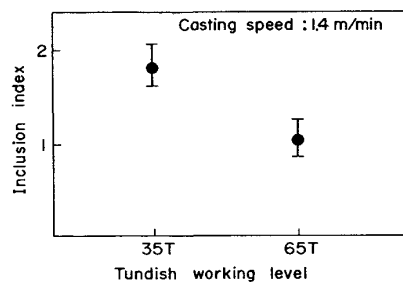
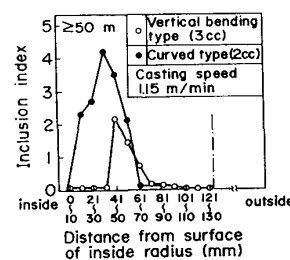


Fig.5 Comparison in Number of Inclusion at Different Tundish Molten Steel Levels



(a) inclusions of 50 micron or bigger

Fig.6 Comparison of inclusions Distribution in cast slab

Table 2 Heat trans. coeff.

Area	Heat trans. coeff. h	(*)
(i) mold	const	w : water density g : slab temp. Va : air speed Z : influential coefficient
(ii) cooling grid	$\alpha \cdot w + \beta$	roll mist spray
(iii) zone A (*)	$\frac{1}{0.45} \cdot \frac{w^{0.35} \cdot g^{0.35} \cdot V_a^{0.35} \cdot Z}{\rho \Delta x}$	
(iv) zone B (*)	(h value of zone A) · Ch · Z	Ch : const.

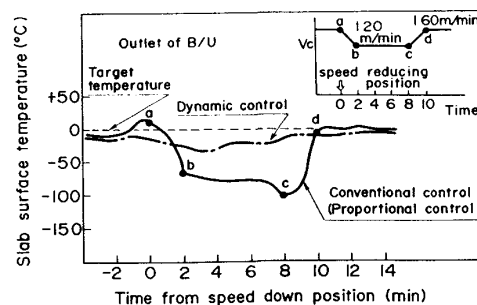


Fig.7 Effect of dynamic control

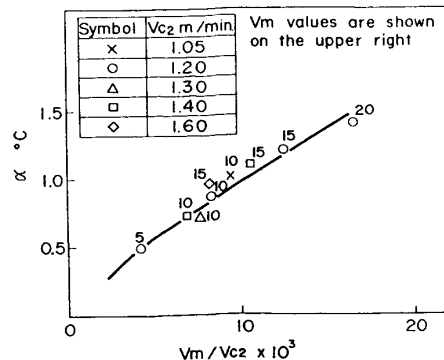


Fig.8 Vm/Vc2 and mold contact burden

部を収める), V_m を抑え V_{c2} を増加して能率向上を図っている。これにより簡便な巾替方法(モールドテープ=一定)にても $2.0m/min$ の高速製造下で巾替が可能であり, 月間1,500回を超える巾替頻度にもかかわらず巾替によるブレイクアウトは皆無である。

B. 分塊ミルの有効活用

上記巾替により生じたテープスラブ及び発生余剰スラブはプロコンによりリアルタイムで圧延指示が出され分塊ミルにより加熱することなく直接圧延にて巾サイジングされ熱片にて熱延ミルに供給される。その実施状況を表-3に示すが, 巾圧下量は最大250mm, 圧延量は50KT/Mとなっている。

Table 3 Slab sizing

Reduction of slab width	50mm~250mm
Amount of slab sizing	50 KT/M

4-4 安定操業技術(ノーマンキャスト技術)

ダイレクトチャージプロセスにおいては操業の安定は必須条件であり, CCの休損が熱延の生産ダウンにつながる。従ってNo3CCでは各種計算機を有機的に結合したトータルシステムの構築によりノーマンキャスト技術(オートスタート⁵⁾, パウダー自動供給, モールド湯面レベル制御, 鑄込中巾替, ミスト冷却ダイナミック制御, オートストップ・引抜⁵⁾等の自動化技術を開発適用し, 非定常時の若干の作業を除いて完全自動化を図った。これにより鑄込スタート時を含め作業が安定化し, トラブルは皆無に近い。

以上ダイレクトチャージプロセスを支える4つの連鑄技術について述べたが, この他に関連技術として品質保証技術, 生産工程管理技術等も重要な要素であるが, 本稿では割愛する。

5. ダイレクトチャージ操業実績

No3CCは58/6に稼動し種々の技術開発を駆使した結果, 高能率の下でダイレクトチャージを主体とする高い熱片操業が可能となった。その推移を図-9に示すが, 最近の実績としては生産量247KT/M, 熱片比90%内ダイレクトチャージ比率60%となっており熱延ミルでの省エネルギーに大きく貢献している。

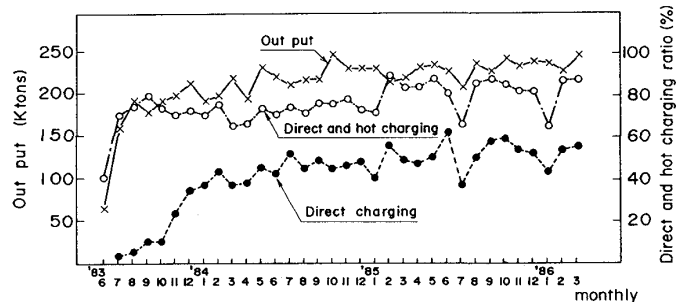


Fig.9 Operational Results of No 3CC

6. 今後の課題

以上既述したようにダイレクトチャージプロセスは安定した操業を行っているが, まだ完成されたものではない。今後下記課題を主体に改善を図る。

- 1) No3CCの更なる高能率操業の追求
- 2) 熱延ミルのスケジュールフリー操業技術の開発

7. 結言

当所のダイレクトチャージは複数連鑄機と熱延ミルの同期化といった複雑な条件下で操業しているが諸技術の結集により安定した操業が可能となり省エネルギー, 歩留等多大な効果を挙げた。しかし今後更にダイレクトチャージプロセスの改善を図り実施量の拡大を推進していく。

8. 参考文献

- 1) 植田ら: 鉄と鋼, 67(1981), P1236
- 2) 住友金属: 鹿島, 製鋼部会 鋼-81-自
- 3) 小林ら: 鉄と鋼, 70(1984), S269
- 4) 木村ら: 鉄と鋼, 70(1984), S994
- 5) 加藤ら: 鉄と鋼, 70(1984), S181