

NKKの連鑄-熱間直送圧延プロセス

内堀 秀男*・谷口 勲*²・手嶋 俊雄*³
 沖本 一生*⁴・政岡 俊雄*⁵

The Technology of CC-Hot Direct Rolling in NKK

Hideo UCHIBORI, Kaoru TANIGUCHI, Toshio TESHIMA,
 Kazutaka OKIMOTO and Toshio MASAOKA

1. はじめに

近年、省エネルギー及び工期短縮の観点から、連鑄と熱間圧延工程の直結化プロセスが提案され実現されつつある¹⁾²⁾。日本鋼管福山製鉄所においては、昭和59年9月に第5連鑄機を当所第2熱延工場に直結して建設し、直送圧延を開始した。

直送圧延を計画実施するにあたり、最も重要な課題は、直送圧延にたえられる高温無欠陥鑄片が製造可能か、という点及び、生産量的に高能率な既設熱延ミルと能力的にうまくマッチング可能かという点であった。そのため第5連鑄機は稼動当初より高速鑄造を指向し、現在では、2.5 m/minのレベルを定常操業化している。また、直送圧延の量的拡大の面においても、順次適用鋼種の拡大に努め、昭和61年3月には月間15万tの直送圧延を実施するに至っている。

本資料では、福山製鉄所における直送圧延操業を概括し、それをささえる技術ならびに今後に残された技術的課題について述べてみたい。

2. 設備概要

直送圧延を安定して実施していく上での設備上の必要要件として以下の点があげられる。

(1) 直送圧延可能な高温無欠陥鑄片を製造し得る品質対応設備

(2) 製造された鑄片を温度降下させることなく最短時間で圧延工場に供給するための設備及び工場レイアウト

(3) 直送圧延可能な高温鑄片を得るための断熱設備及び端部加熱設備

(4) 直送圧延時熱間圧延工場と能力的にマッチング可能な高生産性連鑄機

これらをふまえて、福山第5連鑄機建設にあたり、以下の点に考慮を払った。

(1) 連鑄機を既設熱延工場のミルラインと直線的に直結配置し、溶鋼は製鋼工場から鉄道輸送する。

(2) 連鑄機内及び機外にそれぞれ高温鑄片製造設備を配置する。

(3) 既設熱延工場を大改造せずに直送圧延を実施していくため、鑄片厚を既設連鑄機と同じ220 mmとし、鑄造速度として2.0 m/min以上を安定して維持できる高速連鑄機を設置する。

(4) 非金属介在物浮上の観点から垂直曲げ型マシンプロフィールとし、内部割れ発生防止上、狭小ロールピッチを採用する。

Fig. 1に第5連鑄機のレイアウト図を、Table 1に主

Table 1. Main specifications of No. 5 slab caster.

Item	Specification
BOF	No. 3 BOF 300 t/heat×1/2
Type of caster	Vertical multi-point bending-unbending
Number of stands	2
Vertical zone length	2.45 m
Radius of curvature	8.00 m
Machine length	42.10 m (Secondary cooling zone 25 m Insulating zone 16 m)
Casting speed	2.20 m/min (2.50 m/min)
Oscillation generator	Electro-hydraulic servo [Amplitude : 3.7~14.4 mm Frequency : 12~400 cpm Mode : Sinusoidal and non-sinusoidal]
Slab size	220 mm
Thickness	700~1 650 mm
Width	5 900~14 500 mm
Length	
Nominal capacity	180 000 t/month (future 250 000 t/month)

昭和62年10月23日受付 (Received Oct. 23, 1987) (依頼技術資料)

* NKK 福山製鉄所製鋼部長 (Fukuyama Works, NKK Corporation)

*² NKK 福山製鉄所薄板部技術室長 (Fukuyama Works, NKK Corporation)

*³ NKK 鉄鋼研究所主任部員 (Fukuyama Laboratories, Steel Research Center, NKK Corporation)

*⁴ NKK 福山製鉄所 (Fukuyama Works, NKK Corporation)

*⁵ NKK 福山製鉄所製鋼部第2製鋼工場長 (Fukuyama Works, NKK Corporation, 1 Kokan-cho Fukuyama 721)

Key words : hot direct charge rolling ; energy saving ; process control ; continuous casting machine ; hot rolling mill ; casting defect ; steel ingot ; continuation ; quality assurance ; pouring rate.

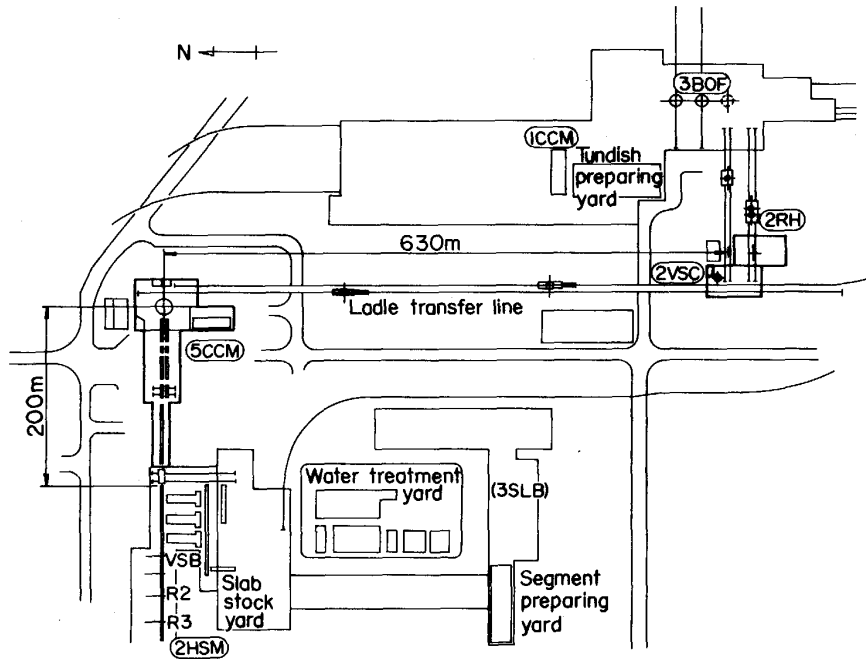


Fig. 1. General layout of Fukuyama No. 5 slab caster.

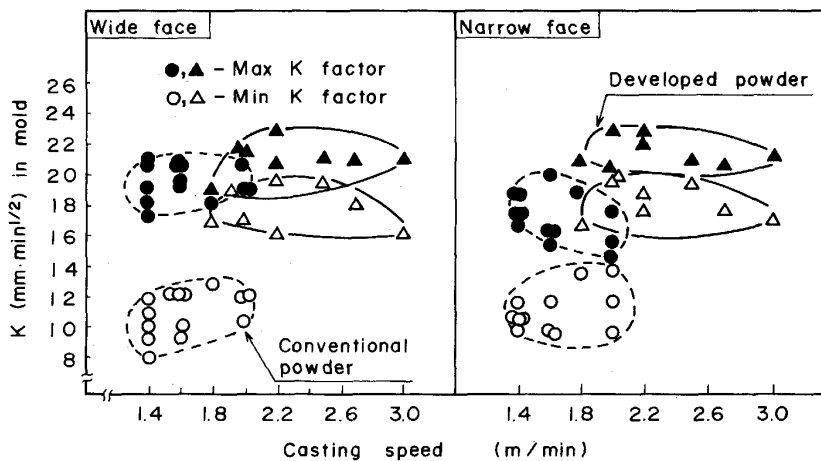


Fig. 2. Effect of mold powder on K factor in mold.

な設備仕様を示す。

3. 直送圧延技術

福山製鉄所において直送圧延を実現するための技術的課題は、高速鋳造技術、高温鋳片製造技術ならびに高品質鋳片製造技術の確立であった。

高速鋳造技術に関しては、第5連鋳機稼動前に、既設連鋳機において既に個々の技術要素としては十分に実用化の域に達していたことから、稼動後順調に高速化を達成し³⁾、最も懸念されたブレイクアウトの発生に関して、きわめて低発生率に推移しており、高速鋳造技術の信頼性が確認された。

高温鋳片製造技術に関しては、個々の技術的蓄積は、高速鋳造技術ほど十分保有していたとは言えなかつたものの、稼動後実鋳片の温度計測ならびに試験直送圧延をくり返しながら個々の現象の解析ならびに改善を重ねた

結果、熱延仕上厚みで1.2 mmまでの薄物コイルを直送圧延することが可能となった。

高品質鋳片製造技術に関しては、直送圧延によって、鋳片表面のスケールオフ量が減少し、鋳片表面欠陥残存による熱延コイルの品質低下が懸念されたが、高速鋳造時における鋳型内溶鋼流動を適正範囲にコントロールすることにより、全く問題の無いレベルに達した。

以下に個々の技術要素について概説する。

3.1 高速鋳造技術

鋳造速度2.0 m/min以上を安定して実現するための技術要素として、高速鋳造用パウダーの開発、均一強冷却モールドの設計、非サイン鋳型振動ならびに高精度モールド湯面レベル制御が挙げられる。

3.1.1 高速鋳造用パウダーの開発⁴⁾

高速鋳造に伴う鋳片と鋳型の潤滑不足を解消する意味で、パウダー中にLiO₂を適正添加しパウダー消費量

を 0.3 kg/m^2 以上安定して確保できる連鑄用モールドパウダーを開発した。Fig. 2 に従来パウダーと、 LiO_2 含有パウダーのモールド内凝固係数の比較を示す。高速鑄造時においてもモールド長短辺とも安定した凝固係数が得られていることが分かる。

3・1・2 均一強冷却モールド⁵⁾

Table 2. The design of a mold copper plate for high speed casting.

Item	Content
Plate thickness	33-40 mm : Surface temperature < 350°C
Bolt position	Avoid from max. heat area
Slit width	5 mm
Slit pitch	20 mm
Slit depth	33 mm : Slit pitch near the bolt
	15 mm
Cooling water	21 mm : Deep slit depth near the bolt
	> 9.0 m/s at meniscus

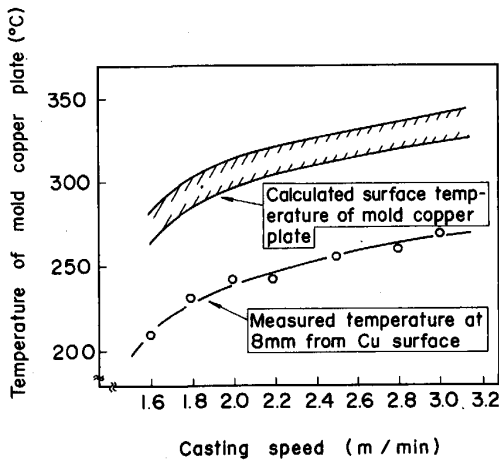


Fig. 3. The relationship between a casting speed and temperature of a copper mold plate.

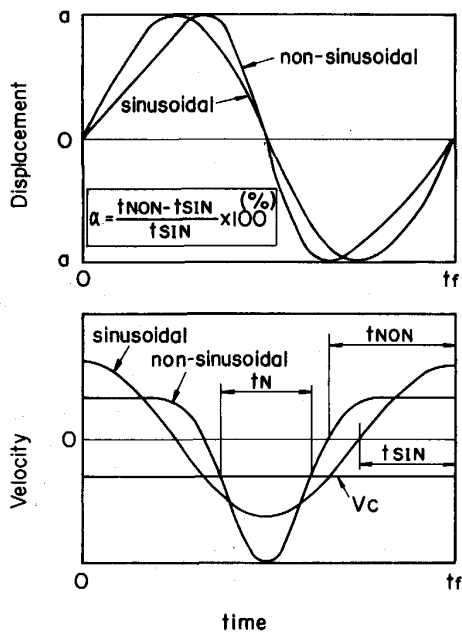


Fig. 4. Curve of non-sinusoidal oscillation.

拘束性ブレイクアウト防止上、鑄造中の鑄型表面温度は、 350°C 以下に抑える必要が有るという経験的な知見から、鑄型設計の際 Table 2 に示すような銅板厚み、スリット形状、冷却水流速の確保等の配慮をはらった。その結果 Fig. 3 に示すように、 3.0 m/min の高速鑄造条件下においても、推定銅板表面温度は目標以下に抑えられている。

3・1・3 非サイン鑄型振動⁶⁾

鑄造中の鑄型と鑄片間の摩擦力を低減する目的で、Fig. 4 に示す非サイン鑄型振動を採用している。この振動方式により、Fig. 5 に示すような鑄型-鑄片間の摩擦力の低減、と同時にパウダー消費量の増加が達成された。

3・1・4 高精度モールド湯面レベル制御

渦流式距離計とスライディングノズルによるモールド湯面レベル制御により、高速鑄造時においても湯面レベル変動を最小限の抑えている。

3・2 高温鑄片製造技術

直送圧延を実施するためには鑄片の高温化が不可欠であることから、種々の高温鑄片対応設備を配置している。実操業においては温度低下しやすい鑄片端部をいかに効率的に断熱ないしは加熱するかというところがポイントとなる。

3・2・1 2次冷却

均一噴霧パターンを有するミストノズルを利用して鑄片の均一冷却をはかると同時に、鑄片端部の過冷却を防止するため、スプレーカバー範囲を鑄造中自由に制御可能なスプレー幅コントロール装置を設置している。

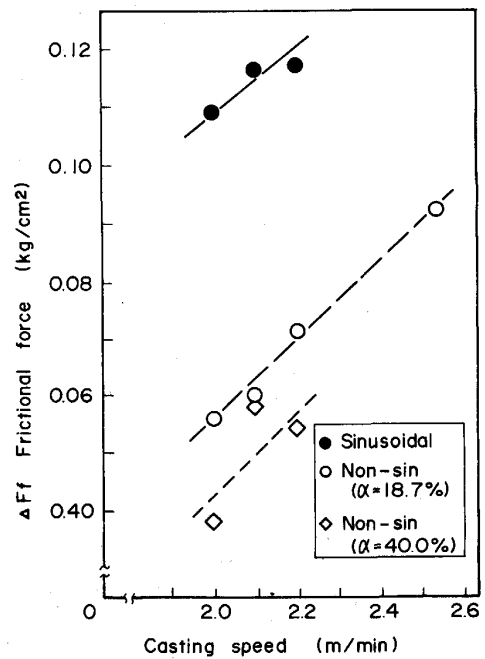


Fig. 5. Relationships between casting speed and friction force.

3.2.2 機内断熱

第5連铸機では、機体後半部は2次冷却を行わず、铸片の持っている潜熱及び顕熱を有効利用することにより铸片の高温化をはかっている。

3.2.3 搬送ライン

铸片保温設備を搬送ライン全長にわたって配置すると同時に、120 m/min の高速搬送ローラーテーブルにより連铸機から熱延工場間の搬送時間短縮をはかっている。

3.3 高品質铸片製造技術

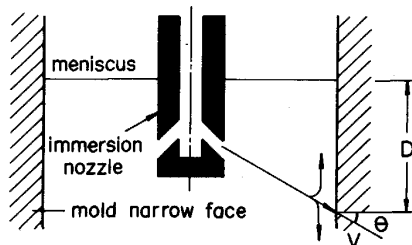
直送圧延に際して、通常連铸铸片に観察される欠陥類(縦割れ、横割れ、ノロカミ、内部割れ等)を低減ないしは無くすることが前提となる。近年需要家の品質要求レベルはますますきびしくなっており、高速铸造及び高温铸片製造時においては、特に内部割れの発生防止ならびにモールドパウダー巻込防止が重要なポイントとなる。Table 3 に第5連铸機の主な品質対策を示す。これらの高品質対策を取った結果、内部割れ、モールドパウダー巻込み、縦割れ等の欠陥発生は全く問題の無いレベルまで低減されている。

3.3.1 铸型内溶鋼流動適正化⁷⁾

高速铸造時、溶鋼吐出量増加に伴い铸型内湯面変動量は増大する傾向が有り、モールドパウダーの铸片内巻込みが懸念される。当所では、铸型内の湯面変動に及ぼす

Table 3. The quality improvement countermeasures of the No. 5 CCM.

Purpose	Countermeasures
Surface quality	<ol style="list-style-type: none"> 1. Very precise mold level control 2. Application of optimum mold powder for high speed casting 3. Optimum design of submerged nozzle 4. Air-mist cooling
Inner quality	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clean steel by VSC and RH treatment 2. Large capacity tundish 3. Vertical bending type machine 4. Small roll pitches 5. Soft-reduction
Quality assurance	<ol style="list-style-type: none"> 1. On line quality prediction system 2. Roll gap checker



$$F: \rho \times \frac{Q_L}{4} \times V \times (1 - \sin \theta) / D$$

ρ : Specific gravity (kg/m³)

Q_L : Casting rate of molten steel (m³/s)

V : Velocity of molten steel stream at narrow face (m/min)

θ : Collision angle of molten steel stream (deg)

D : Collision depth of molten steel stream (m)

Fig. 6. Calculation of mold level fluctuation index "F".

種々の操業因子を水モデル実験にて整理し、実機における計測値と対応づけながら湯面変動に関する特性値Fを定義し (Fig. 6), 浸漬ノズルの形状等の操業条件を決定している。特性値Fが過大な場合には、铸型内の湯面変動は大きくなり、モールドパウダー巻込みが発生する。また過小な場合には、X=スカス部の流動不足ならびに熱供給不足が生じ、クラスト等の発生につながる。このため、特性値Fが常に適正範囲に収まるようにコントロールすることが品質管理上重要なポイントとなる。

3.3.2 铸型内湯面多点計測⁸⁾

従来、実操業で得ていた铸型内の湯面変動に関する情報は湯面レベル制御用の渦流式距離計による1点のみの限られたデータであつたが、第5連铸機においては、複数の小型渦流式距離計を配置し、铸型全面にわたる湯面レベル計測を実施している。その結果各種操業因子と铸型内の局所的湯面変動実態に関しいくつかの知見が得られた。一例を Fig. 7 に示す。短辺銅板近傍で湯面レベルのもり上がりが観察され、かつ湯面変動量も大きくなつていことが分かる。これらの知見と湯面変動に関する特性値Fをベースとして、高速铸造時の铸造条件の最適化及び、品質管理の強化を図つた結果、铸片表面品質向上に大きな効果をあげた。

3.4 今後の課題

以上福山製鉄所において、直送圧延を実現するうえで何が新たな技術開発要素であつたかについて述べた。通常連铸-熱延直結の生産プロセス形態においては、個別プロセスのトラブルは即プロセス全体の能率ダウンにつながる。当所の第2熱延工場の場合には、第5連铸機トラ

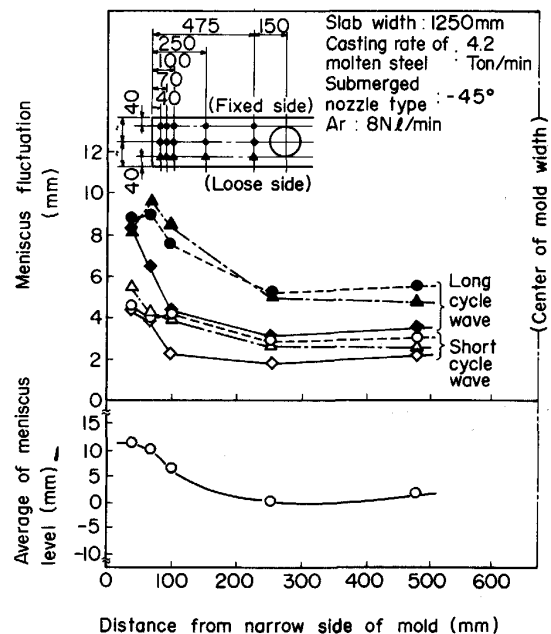


Fig. 7. Condition of meniscus (High casting rate of molten steel).

ブル時にはすみやかに加熱炉材にて代替圧延するシステムをとっているが、やはり生産能率の低下をまねくことは避けられない。したがってこのような生産プロセスを効率よく稼動していくうえでは、プロセス全体にわたって設備の信頼性を上げ、操業的的中率を上げていくことが極めて重要な要素となる。当所では、直送圧延の計画量に対する実施量の比率は現在約9割のレベルにあるが、今後この比率をさらに上げていくことが生産能率及び加熱原単位の面で重要な課題である。

また直送圧延を量的に拡大していく上で、適用鋼種の拡大を図ることが重要なポイントとなる。前述した品質対応技術の適用により、現在では大部分の鋼種に対して直送圧延可能となつているが、中炭素鋼等一部の鋼種については、いまだトライアルベースにとどまつている。中炭素40キロ鋼を高速鑄造し直送圧延する際の問題としては、縦割れ、コーナー割れ及び側面割れ等の表面欠陥の発生があげられる。縦割れに対しては高塩基度低粘性パウダーの適用、コーナー割れ及び側面割れに対してはその発生時期が鑄型内であることから、鑄型短辺のマルチテーパ化及び鑄型コーナー部のパウダー溶融プール厚の適正化等により改善をはかりつつある⁹⁾。今後これらの鋼種を含め、さらに適用鋼種拡大を図っていくことも重要な課題である。

4. おわりに

日本鋼管福山製鉄所は、連鑄-熱延工程の直結化という目標に対して努力を傾注してきた結果、第5連鑄機-第2熱延工場ラインにおいてその夢を実現するに至つた。現在第5連鑄機の操業レベルは月間生産量24万t、直送圧延量15万t/月、月間平均鑄造速度2.2m/minとなつている。今後さらに連鑄機の高速度化、高能率化及び鑄片の高温化を図り、従来型連鑄機の可能性の限界を追求していく予定である。

文 献

- 1) 田中 功, 椿原 治, 本多通保, 船津勝海, 山川 洋: 鉄と鋼, **67** (1981), S926
- 2) 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), S180
- 3) 小谷野敬之, 内田繁孝, 瀬良泰三, 政岡俊雄, 森 孝志, 鈴木幹雄: 鉄と鋼, **71** (1985), S157
- 4) 宮脇芳治, 半明正之, 白谷勇介, 内田繁孝, 石田寿秋, 寺岡卓治: 鉄と鋼, **70** (1984), S143
- 5) 小谷野敬之, 白谷勇介, 内田繁孝, 和田 勉, 小沢宏一, 森 孝志: 鉄と鋼, **72** (1986), S265
- 6) 水上秀昭, 尾関昭矢, 長谷部信久, 栗林章雄, 内田繁孝, 北川 融: 鉄と鋼, **71** (1985), S247
- 7) 手嶋俊雄, 北川 融, 舟之川洋, 沖本一生, 丹村洋一, 近藤恒雄: 鉄と鋼, **72** (1986), S1012
- 8) 和田 勉, 近藤恒雄, 沖本一生, 手嶋俊雄, 北川 融: 鉄と鋼, **73** (1987), S202
- 9) 舟之川洋, 和田 勉, 白山 章, 森 孝志, 沖本一生: 鉄と鋼, **73** (1987), S923