

© 1988 ISIJ

## 技術報告

新日鉄君津厚板工場におけるホットチャージ  
ローリング技術

長田元宏\*・久富木行治\*・大津一郎\*・田中輝夫\*

Establishment of HCR Technology at Heavy Plate Mill  
in Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.

Motohiro NAGATA, Yukiharu KUBUKI, Ichirou ÔTSU and Teruo TANAKA

## Synopsis :

At a Heavy Plate Mill in Kimitsu Works, HCR operation has been introduced since July 1982.

Since start-up, the production management between caster and mill was made more suitable for the HCR operation and several measures were taken to raise HCR ratio and the slab temperature, such as decrease of slab surface cracks, building of slab heat insulator, optimized scheduling system and so on.

As a result, the HCR ratio and temperature is now more than 75% and 680°C.

In this paper, we describe the concepts, contents and effects of these measures.

**Key words** : HCR (Hot Charged Rolling) ; HCR ratio ; HCR temperature ; slab surface crack ; slab heat insulator ; production management system.

## 1. 緒 言

新日本製鉄(株)君津製鉄所厚板工場では、昭和57年7月よりHCR (Hot Charged Rolling)を開始した。HCR化の目的は言うまでもなく省エネルギー、すなわち加熱炉燃料原単位の低減にあり、HCR材比率、HCR材加熱炉装入温度は重要な管理項目である。HCR化に伴う諸対策実施の結果、最近ではHCR材比率75%以上、装入温度680°C以上を維持している。

本論文では、君津厚板工場における

- ① HCR材比率向上対策
- ② HCR材装入温度向上対策

- ③ 生産管理システムの改造  
について述べる。

## 2. HCR化に必要な諸対策

Table 1に示すように、HCR材比率、温度対策として、連続鑄造工程でのスラブ表面疵防止、スラブ保温、鑄込み・圧延スケジューリングのシステム化<sup>1)</sup>、およびクレーン、切断機等の耐熱化を行った。また、リアルタイム一貫生産管理等のシステムを構築し、製鋼・厚板工程間の情報伝達のオンライン化を図った。これらの諸対策の実施によりFig. 1に示すようにHCR材比率、温度の向上を図ってきている。

Table 1. Main measures for HCR.

	Measure	Object		
		HCR ratio	HCR temp.	Production
Hardware	CC ① Decrease of slab surface cracks (Moderate cooling, Mist nozzle, Standardization of CC operation) ② Slab surface crack detector (ECT)	○		
	Heavy plate mill ③ Plane view pattern control on rolling ④ Slab heat insulator ⑤ Reconstruction of slab cranes ⑥ In-line slab gas cutter and marking	○ ○	○ ○	○ ○
Software	System ⑦ HCR operation scheduling system ⑧ CC-Plate Mill production management system	○	○	○

昭和62年10月15日受付 (Received Oct. 15, 1987)

\* 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

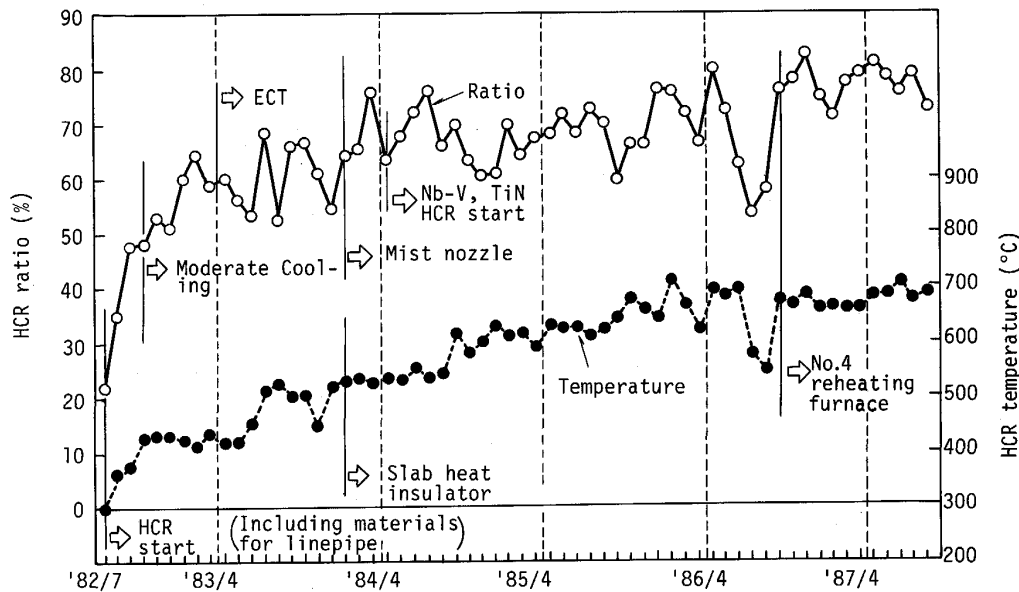


Fig. 1. Improvement of HCR ratio and temperature.

### 3. HCR 材比率向上対策

HCR 材比率は、可能率、組込み率、実施率より構成される。各比率の定義は以下に示すとおりである。

$$\text{HCR 材比率} = (\text{可能率}) \times (\text{組込率}) \times (\text{実施率})$$

$$\text{可能率} = B/A$$

$$\text{組込率} = C/B$$

$$\text{実施率} = D/C$$

ここで、A, B, C, D はおのこの

A: 厚板全圧延量

B: 品質上 HCR 可能な量

C: HCR として出鋼時計画された量

D: HCR として圧延された量

である。

Fig. 2 に HCR 材比率の考え方のフローを示す。図中の数字、例えば①, ②は Table 1 の対策の内①, ②が HCR 可能率向上を目的として行われたことを示す。

#### 3.1 HCR 可能率向上対策

HCR 可能率向上のためには、スラブの品質改善が不可欠である。特に、無手入鋼板製造、および铸片のノースカーフ志向を基本にした HCR 可能率向上対策としてスラブ表面疵防止技術と熱片におけるスラブ表面疵検出技術を確立した。以下に HCR 化に当たって実施した諸対策について述べる。

##### 3.1.1 スラブ表面疵防止対策

###### (1) 連続铸造二次冷却の緩冷化

Nb 鋼で特徴的に発生するスラブコーナー表層部の微細な横割れは、铸肌では目視確認困難でかつ比較的深い

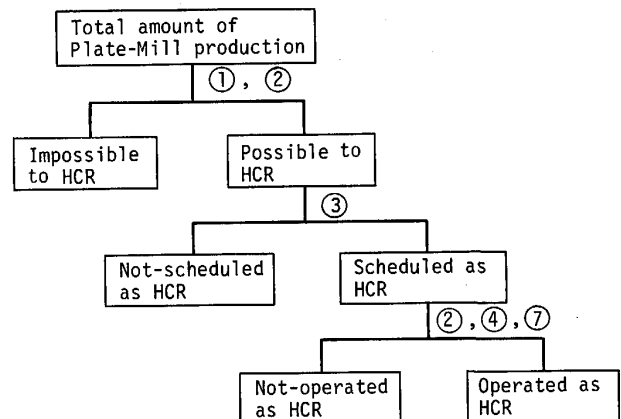
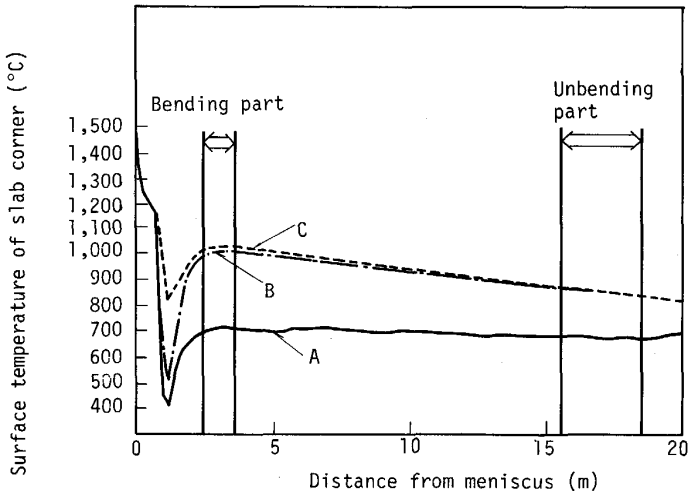


Fig. 2. Concept of HCR ratio and measures for increasing HCR ratio.

ため極めて有害であり、铸造工程でその発生を完全に防止することが必要である。横割れは二次冷却条件と密接に関係しており、垂直曲げ連铸機においては Fig. 3 に示すようにスラブ下面側コーナー部近傍に特徴的に発生することが知られている<sup>2)</sup>。君津 2 号連铸機も、垂直部 2.5 m の垂直曲げ型連铸機のため横割れ対策が必要である。

横割れはストランド上部での曲げ加工により下面側に多発すると考えられる。割れ近傍の組織写真から、横割れは  $\gamma$  粒界に沿って伝播しており、割れ破面には微細なディンプルが認められる。これらの事実から、横割れが  $\gamma$  低温域から  $\gamma/\alpha$  変態温度域にかけての鋼の脆化、すなわち III 領域脆化に起因する割れと言える。

一方、スラブコーナー部のメニスカスから二次冷却帯



I.C.: Intensive cooling  
M.C.: Moderate cooling

	Wide face	Narrow face
A	I.C.	I.C.
B	M.C.	I.C.
C	M.C.	M.C.

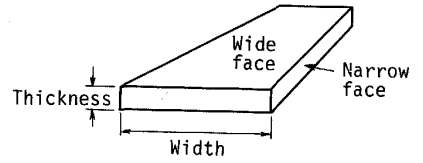


Fig. 4. Behavior of surface temperature of slab corner.

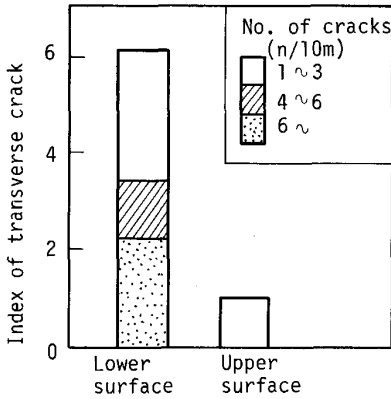


Fig. 3. Comparison of cracks on upper and lower surface.

に至る間の温度履歴を二次元伝熱計算にて推定した。その結果、Fig. 4 に示すようにコーナー部は鑄型直下で短辺スプレーの影響を受け急冷され、その後復熱する。このように曲げ部での表面温度は 700~1000°C で変化し、Ⅲ領域脆化が起こり得る温度域で曲げ加工を受けることにより、横割れの発生拡大を招いていると思われる。

上記検討結果を基に、Fig. 4 に示すように、鑄型内および鑄型直下の長辺冷却緩冷化により曲げ部でのスラブ表面温度を上昇 (A→B) させる。さらに、短辺冷却緩冷化により、鑄型直下での最冷点温度を上昇 (B→C) させ、Fig. 5 に示すように曲げ部での温度を脆化域より高温側に回避することで横割れ発生を防止した。Fig. 5 の横軸、縦軸はおおの Fig. 4 の温度履歴のうち曲げ部の温度、およびメニスカスから曲げ部に至るまでの間の最冷点温度を示す。また、A, B, C の各点は Fig. 4 の冷却パターン A, B, C に相当する。Fig. 6 にスラブ下面側コーナー部横割れに対する短辺冷却緩冷化の効果を示す。

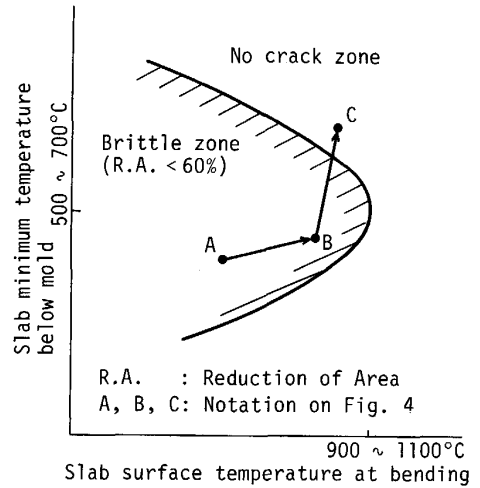


Fig. 5. Concept of moderate secondary cooling at casting.

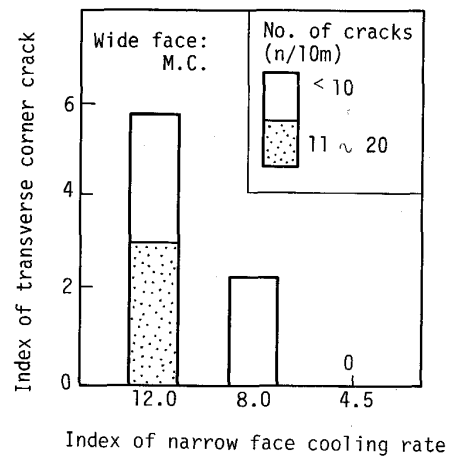


Fig. 6. Effect of narrow face moderate cooling on transverse corner crack.

(2) 気水噴霧冷却の導入

スラブの表面割れ欠陥を防止するには、二次冷却帯で

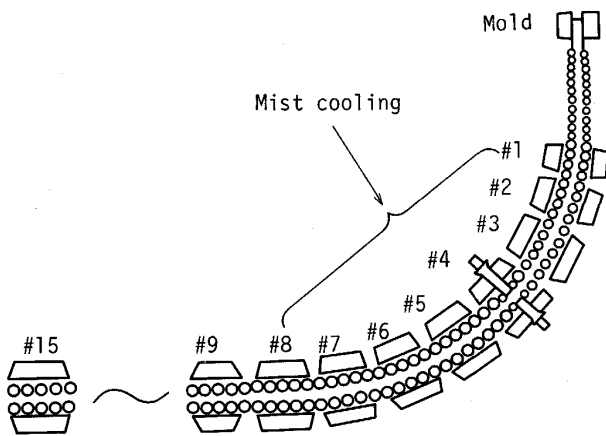


Fig. 7. Position of mist cooling in No. 2 CC machine.

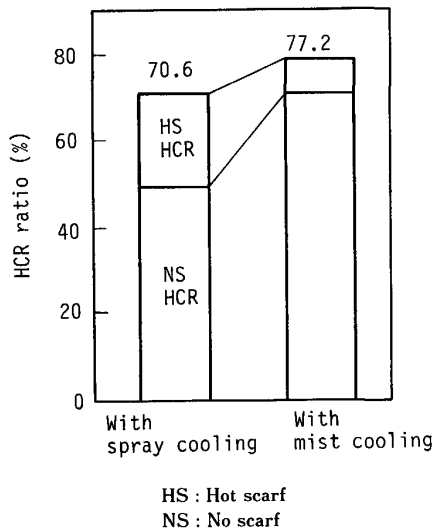


Fig. 8. Effect of mist cooling.

の伝熱不均一の防止をはかることが有効であり、その具体策として Fig. 7 に示すように、湾曲部から矯正部の間に注水密度の低い気水噴霧ノズルの導入を図った。

気水噴霧ノズルの特長は

- ①幅方向の均一冷却性に優れている。
  - ②水量減少時もノズル吐出速度の確保が可能で冷却能可変範囲が広い。
  - ③ノズル詰りが少なくメンテナンス性に優れている。
- 等である。

Fig. 8 に示すように気水噴霧冷却化によりノースカーフ比率および HCR 比率は大幅に向上した。特に、連続鋳継目部等の速度変動部におけるスラブの品質向上に寄与している。

(3) その他の表面疵対策

今までに述べた冷却関係を主体にした抜本的な品質改善の他に、連続鋳造操業面の種々改善試験を行い、品種

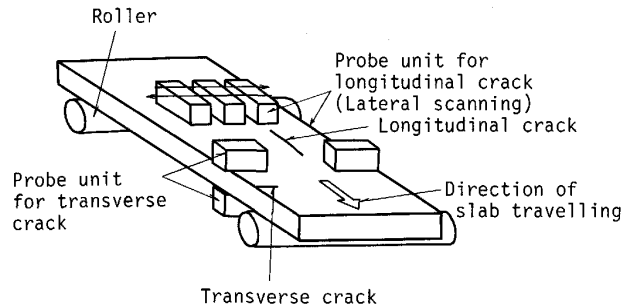


Fig. 9. General view of ECT.

ごとに問題点を摘出し、操業標準を見直した。その主なものは、

- ①品種別最適パウダーの選択
- ②湯面レベル計使用によるモールド内湯面の安定化
- ③モールド振動数の最適化
- ④曲げ戻し部での CPC (圧縮力付加鋳造) 制御を品種別に内部割れ重視型と表面疵重視型に分類して最適圧下標準を設定

等である。また、操業異常項目や非定常部位の品質有害度を明確にして、ホットスカーフ材の HCR 化拡大を図った。

3.1.2 スラブ表面疵検出技術の確立

Nb 系や Ti 系等表面割れ感受性の高い成分系において、ノースカーフで HCR 化するには、連続鋳造操業面で種々改善策を講じて、溶鋼性状あるいは連続鋳造操業上のばらつき等により表面疵発生は皆無とはならない。そこで、連続鋳造オンラインでスラブの表面疵を検出する渦流式の熱間探傷設備<sup>3)</sup>(ECT: Eddy Current Tester)を開発し、払出しスラブの表面疵検出技術を確立した。当設備は、Fig. 9 に示すように連続鋳造機に直結した搬送テーブル上に設置され、スラブの上下面の探傷が可能である。疵探傷能力は、Fig. 10 に示すように、深さ 3 mm 以上、長さ 100 mm 以上の縦割れおよび長さ 20 mm 以上の横割れに対して 100% の検出が可能である。

3.2 HCR 組込み率向上対策

3.2.1 スラブ幅の集約

厚板製造工程では広範囲な成品幅に対応するため幅出し圧延を行う。幅出し比 (圧延幅/スラブ幅) は、板長手方向の板幅変動 (平面形状)、幅出し時に生じる断面の不均一延び等による歩留低下を防止するため、その上限が制約される。このため、従来 150 mm ピッチで 8 種類のスラブ幅を設定、連続鋳造では幅可変による異幅連続鋳造を行っていた。しかし、HCR 化では、幅可変部は

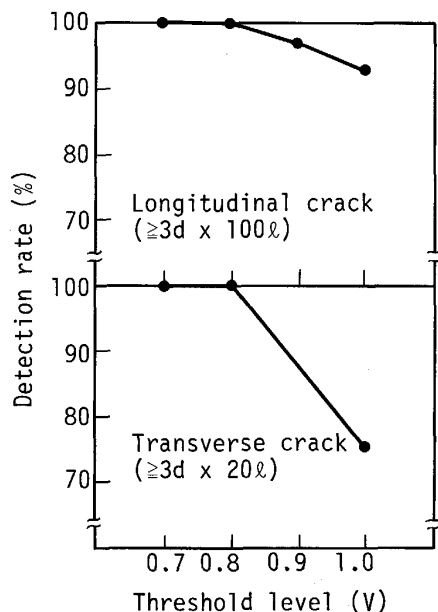


Fig. 10. Ability of ECT.

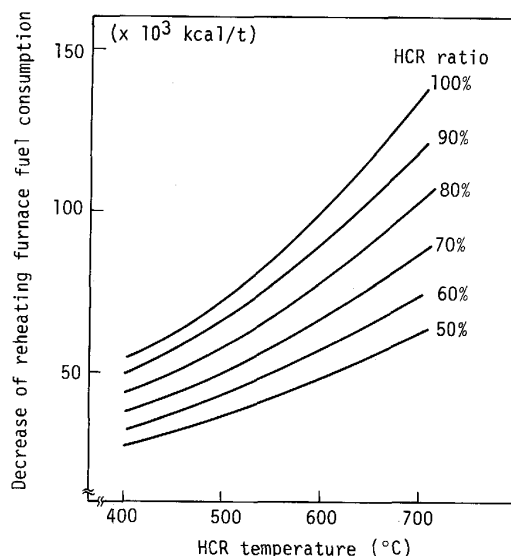


Fig. 11. Effect of HCR on reheating furnace fuel consumption.

冷間での幅切断の必要上 CCR (Cold Charged Rolling) として出鋼計画されることになり HCR 組込み率の低下を招く。従つて、厚板粗圧延段階における

#### ①平面形状制御圧延法の活用

#### ②幅出し圧延法の改善

により歩留りを低下させることなく幅出し比制約の緩和を行い、スラブ幅を2種類に集約し組込み率の向上を図つた。

#### 3.2.2 異鋼種継目部の HCR 化

厚板製品の特徴として少量多品種があげられる。そのために同一鋼種でのロットが小さく多連鑄が続きにくい状態にある。従来の操業では、異鋼種連連鑄を行い、成分が不安定になりやすい異鋼種継目部は、一度冷片化して品質チェックを行い、その後加熱炉へ装入していた。

HCR 化に際して、連続鑄造での異鋼種継目部の鑄込み操業の改善および後述する品質 FF (Feed Forward) 処理により継目部の HCR 化を実施、組込み率の向上を図つた。

#### 3.3 HCR 実施率・温度向上対策

加熱炉燃料原単位低減量  $\Delta Q$  は、HCR によるスラブ熱量の増加を  $\Delta H$ 、加熱炉体熱効率を  $\eta$  とおくと、

$$\Delta Q = \Delta H / \eta$$

で表される。上式および装入温度に対する熱効率より得られる加熱炉燃料原単位低減量を Fig. 11 に示す。同図より、HCR のメリットを享受するにはスラブを高温のうちにも高比率で加熱炉へ連続装入しなければならない。そのためには、前述の可能率、組込み率の向上と

共に HCR 材の

①鑄込みと圧延スケジュールのマッチングを図り、スラブヤード内長時間滞留によるスラブ温度低下を防ぐ。また、マッチングにより圧延チャンスロスを防止する

②滞留時間内でのスラブ保温を行い温度低下の減少に努める

が必要である。

#### 3.3.1 鑄込み・圧延スケジュール

鑄込み・圧延スケジュールは、次の3段階にてマッチング精度の向上を図っている。

①月次生産計画に基づき、10日間ごとの出鋼計画(旬別出鋼計画)を立てる。旬別出鋼計画では、厚板工程内負荷バランス、納期等を考慮して、日別の HCR 材を含めた圧延量を決定する。

②旬別出鋼計画に基づき、日別出鋼計画を立てる。日別出鋼計画では、鑄込み・圧延能力、材料のサイズ、加熱、圧延温度等の条件および処理工程フローより、圧延チャンスロス、長時間滞留の起こらない鑄込み・圧延スケジュールを決定する。また、この段階では圧延順=出鋼順となるべく出鋼計画され、スラブヤード内での滞留時間減少を図る。

③実操業時においては、日別出鋼計画で予定されたスケジュールのマッチング率をより高いものとするため鑄込み・圧延両工程間で綿密な情報交換を行い、交代単位(8h ごと)の鑄込み・圧延スケジュールの調整を行う。

これらの、階層別管理をシステム支援の下で行い、スケジュールリングの高精度化、高速化を実現、実施率の向

上および装入温度の低下防止を図っている。

3.3.2 スラブ保温

上記スケジュールに従って出鋼されたスラブをより高温で加熱炉へ装入するために

- ①製鋼・厚板工場間輸送貨車でのカバー保温
- ②厚板スラブヤード内でのカバー保温

を実施している。保温カバーの特長は

- ①トングクレーンで作業できる構造とし、特別な人員を必要としない
- ②昇降可能なたれ幕方式を採用し、カバー脱着が容易。また、低揚程クレーンでも使用可能である
- ③隣接する熱延工場と同一構造、サイズのため回転効率が高いである。

3.3.3 No. 4 新加熱炉による実施率向上

君津厚板工場は、ラインパイプ、海洋構造物、建築用高級鋼を製造するミルであるため、材質上、鋼種ごとに決定される加熱条件（加熱温度、必要在炉時間等）は多岐にわたっている。従来の No. 1～3 加熱炉はプッシュ方式のため加熱温度変更時には、炉内温度が安定

するまで加熱条件制約のない低グレード鋼を温度移行材として装入していた。これら移行材は、HCR 材として出鋼計画された低グレード鋼の一部を冷片化して使用していたため HCR 実施率の低下原因となっていた。昭和 61 年 7 月に稼働した No. 4 新加熱炉<sup>4)</sup> はウォーキングビーム方式で、炉内壁にセラミックファイバーを用いた低熱慣性炉のため、加熱温度変更時には短い空炉域を設定することにより、加熱スケジュールフリーが可能である。現在では No. 4 加熱炉 1 基での操業形態をとっているため、移行材の必要がなくなり HCR 実施率が大幅に向上した。

4. 生産管理システムの改造

HCR 操業における生産管理面での最大の特長は、製鋼工程と厚板工程の物流が直結・高速化されることにある。従来の管理は、製鋼工程と厚板工程がそれぞれ独立しており、おのおのの工程での最適計画を達成するためのバッファーとして、大量のスラブ在庫が必要であり、また作業命令指示も日単位で行う管理方式であった。

製鋼工程と厚板工程の直結化により、物流管理メッ

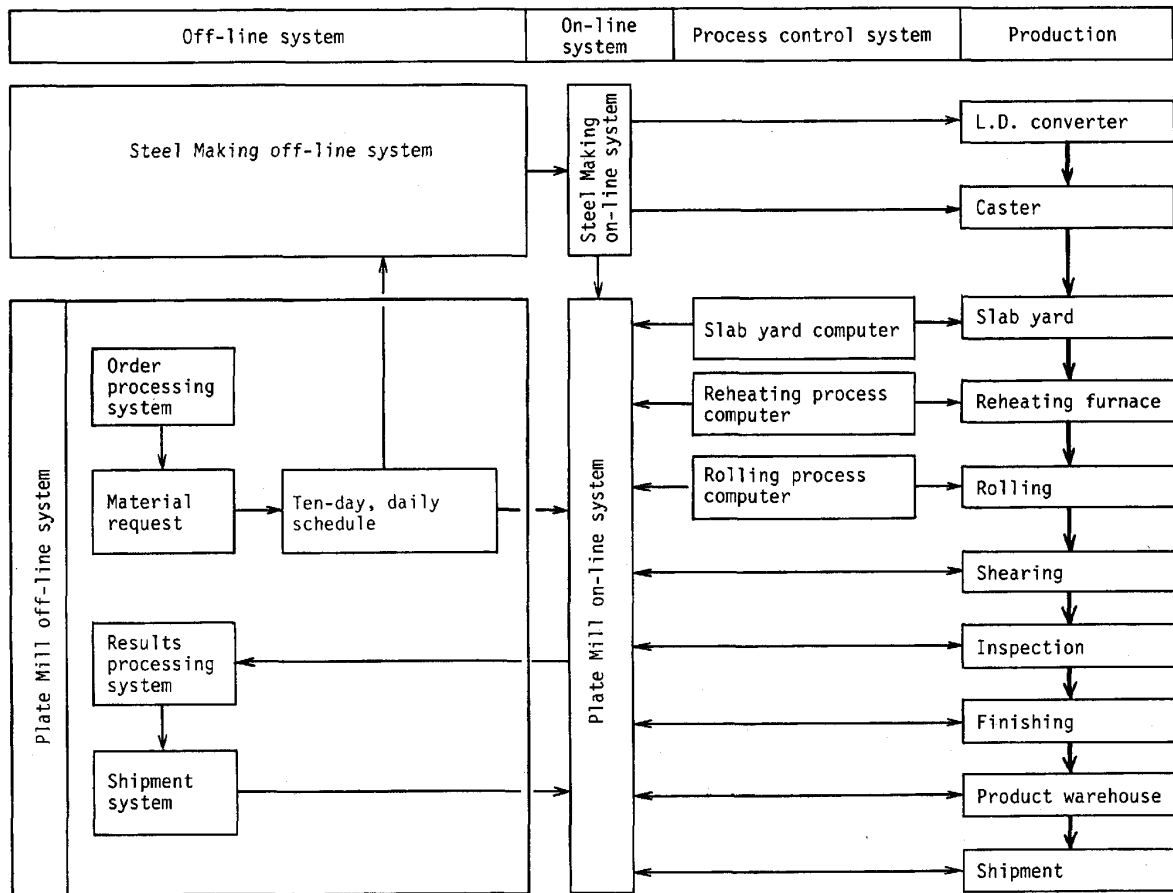


Fig. 12. Heavy plate production management system.

シュを日単位から h・min 単位へと大幅に変更する必要がある。従つて、製鋼から圧延までの一貫した最適物流計画を立案すると共に、HCR 化効果の最大限発揮のために生産管理システムの改造を行った。

4.1 改造の考え方および内容

4.1.1 改造の考え方

改造にあつては、既存のオフライン、オンライン、プロセスコンピューターの各システム系からなるハイパーキー構造をベースにして、HCR 化に伴う必要機能を各システム系に具備することとした。Fig. 12 に厚板生産管理システムの概要を示す。

4.1.2 改造内容

(1) 製鋼から圧延までの一貫した最適物流計画の立案および実行調整機能の強化

① 旬間 (10 日間) の生産計画に基づき厚板工場内物流予測を行い、適正材料投入計画の決定を支援するシステムの作成

② 鋳込み能率 (t/h)、圧延能率 (t/h) 予測を行い、出鋼タイミング、圧延タイミングの決定、微調整を支援するシステムの作成

(2) 製鋼・連続鋳造実績のオンライン伝送

① 従来オフラインで行っていた製鋼実績に基づく品質判定をオンライン FF (Feed Forward) 処理化しリアル

タイムでの HCR リジェクト、厚板工程への作業指示変更ができる機能の追加

② 連続鋳造でのスラブ採片実績を基にして、厚板工場内のスラブ分割時に切断位置の自動指示をするシステムの作成

(3) HCR 組込率向上を狙った材料請求システムへの改造

① 注文納期を反映できる機能の追加

② 随時必要な時に材料請求ができる対話型システム化

③ 連続鋳造時の異鋼種継目部を認識できる機能の追加

4.3 具体例

上記改造項目の中で、オンライン品質判定の FF 処理について以下に述べる。

スラブに品質異常の可能性が考えられる場合、従来は、製鋼・連続鋳造での成分、鋳込み実績を厚板オフラインシステムで取り込み、必要に応じてオフライン上で厚板工程での作業指示の変更を行い、その後、データを厚板オンラインシステムに移して作業指示を行っていた。オフラインでの処理に 2~3 日要するため、HCR 化では、この処理の大幅な時間短縮が必要となる。具体的には、従来の処理フローは変えずに、作業指示の変更に必要な製鋼・連続鋳造データを厚板オンラインシステム上で受け取ることにより、従来のオフライン処理部のオンライ

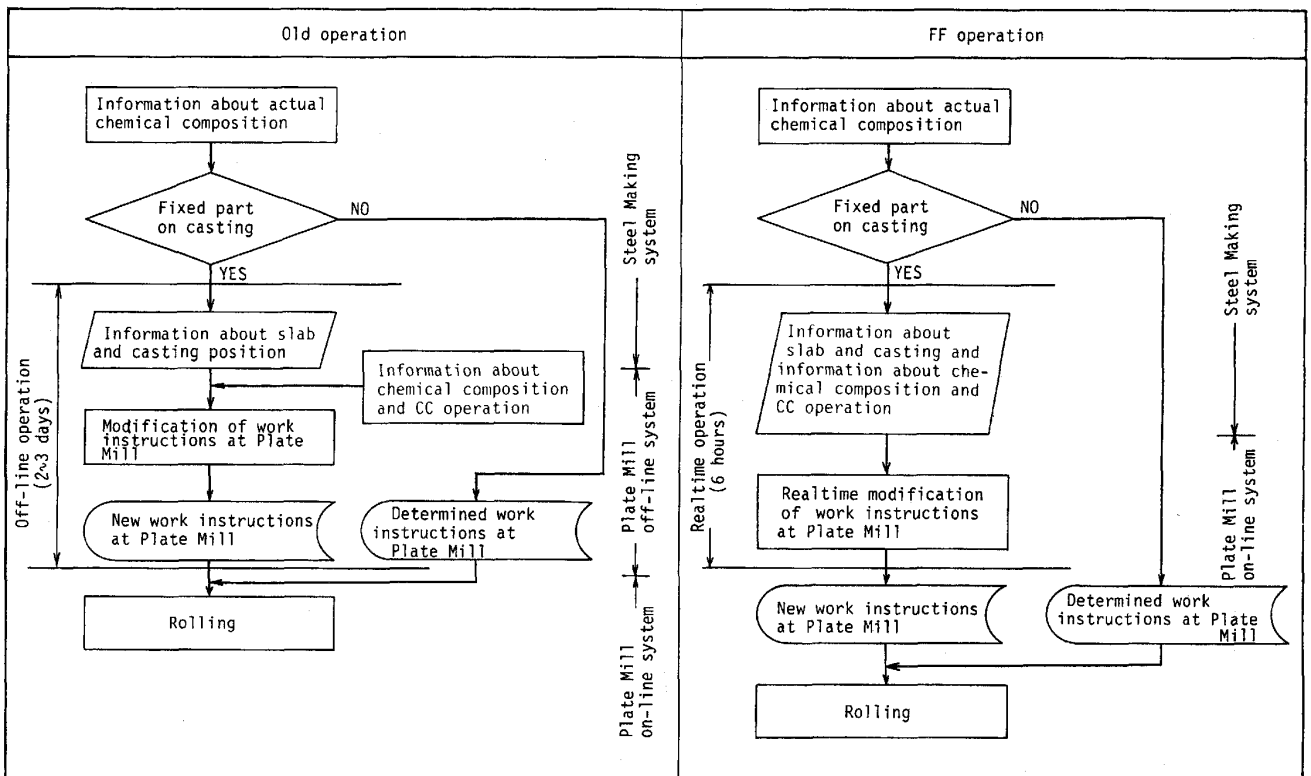


Fig. 13. Comparison of FF and old operation for fixed part on casting.

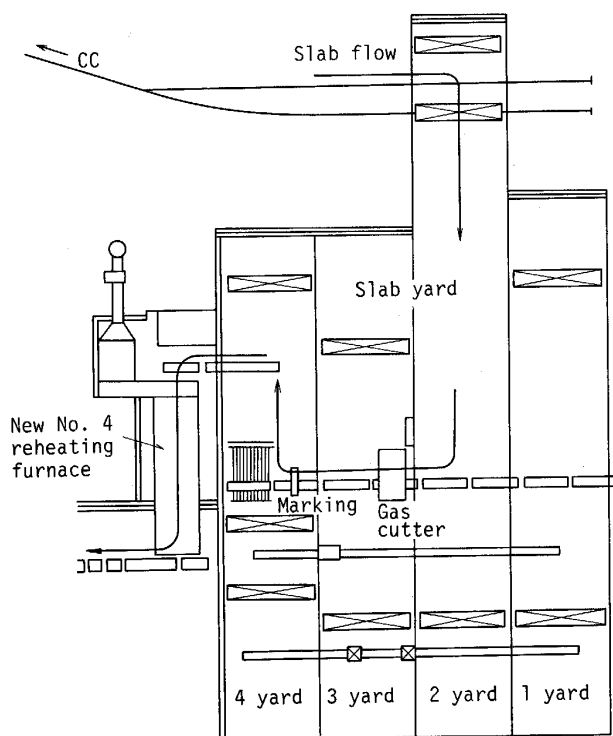


Fig. 14. Slab yard layout.

ン FF 処理化を行った。Fig. 13 に従来の処理と FF 処理との比較を示す。

### 5. HCR 化に伴うその他の対策

HCR 化に伴い、諸設備の耐熱化対策として

- ①製鋼・厚板工場間のスラブ搬送をトレーラー輸送から貨車輸送に変更
- ②厚板工場スラブヤード内クレーンをマグネット方式からトング方式の変更
- ③厚板工場スラブヤード内ガス切断機、マーキング装

### 置の更新

を行った。ガス切断機、マーキング装置は Fig. 14 に示すように直列に配置し、計算機にて制御することにより、切断からマーキングに至る一連の作業の高能率化、誤認識防止を可能としている。以下にガス切断機の主な特長を示す。

- ①最大 600 mm/min の高速切断が可能
- ②スラブ実温度に応じた切断箇所自動位置決め機能を有し、2~4 同時分割が可能
- ③発煙防止火口の採用
- ④1 パスノロ取り機能

## 6. 結 言

製鋼、厚板両製造部門、および品質管理、生産管理、システム等の支援部門一体となつて HCR 化に取り組み、君津厚板工場の HCR 技術は短期間のうちに飛躍的に向上した。その結果、加熱炉燃料原単位は大幅に低減してきた。

今後も、HCR 技術のレベルアップを図るとともに、HCR で培った技術を基礎として、超高温 HCR 実現に向けてチャレンジしていく所存である。

## 文 献

- 1) 神永詔三, 植松正博, 栗山富士男: 鉄と鋼, **69** (1983), S1141
- 2) 向井達夫, 荻林成章, 辻野良三, 内藤俊太, 鈴木洋夫, 阿部義男, 長田修次: 鉄と鋼, **67** (1982), A161
- 3) 奥村治彦, 川口忠雄, 江田泰幸, 若生昌光, 北尾 聡, 杉本隆夫: 鉄と鋼, **70** (1984), S843
- 4) 木船 勲, 真沢正人, 白井美文, 桑野康洋: 鉄と鋼, **73** (1987), S320
- 5) 第 58 回厚板分科会報告書, 日本鉄鋼協会共同研究会鋼板部会 (1984)