

討14 連鑄-熱間圧延の直結化における最適プロセスの検討

日本鋼管(株) 福山製鉄所 谷口 勲 内田繁孝 中村丈人
 白石 馨 小土井章夫 寺内琢雅
 中央研究所 杉山峻一

1. 緒言

連鑄-熱間圧延の工程連続化に関して、これまで既存設備レイアウトの枠を超え、専用連鑄機、専用加熱装置などの設置によるさまざまな形態の新プロセスが提案されている。^{1) 2) 3)}

一方、連鑄、熱間圧延の操業形態、生産性の差異により新プロセス単独での操業は一般には成立しにくく、冷片または温片加熱を主体とした従来プロセスとの混成操業を行なっているのが実態である。

本報告では、シミュレーションによる新プロセスの評価および実設備による操業テストに基づき、種々形態の連鑄-熱延間の新プロセスについて、従来プロセスとの組み合わせを考慮した上で総括的な観点から検討を行なった。

2. 連鑄-熱延直結化における要素技術

工程連続化に関して、いかなるプロセスを指向しても以下にあげる要素技術は必要不可欠である。すなわち、1) 無欠陥スラブ製造技術 2) 高温スラブ製造技術 3) ライン上スラブ温度降下防止技術

4) 連鑄-熱延・生産性バランス対応技術 5) 連鑄-熱延・幅対応技術 6) 連鑄-熱延・一貫操業管理システムなどである。これらに関しては既に報告^{3) 4) 5) 6)}

7) 8) を行なっているため、本報告では、連鑄機出側以降のプロセスに関し検討を行なった。

3. シミュレーション計算によるプロセス比較

Fig. 1に鑄片高温化対策を施した連鑄機の鑄造直後のスラブ温度分布(当社福山5CCMの例)を示す。一般に連鑄機内では健全な凝固シェルを得るための冷却パターンにより不可避免的にスラブエッジ近傍の温度が降下し、主要な製品板厚において圧延仕上温度(A_{R3}点)が確保できないという問題が生じる。本来、連鑄機と熱延ミルを単純直結したプロセスが理想ではあるが、上記問題により何らかの熱補償設備を含んだプロセスが必要となる。筆者らは、Table.1に示す4ケースのプロセスについて検討

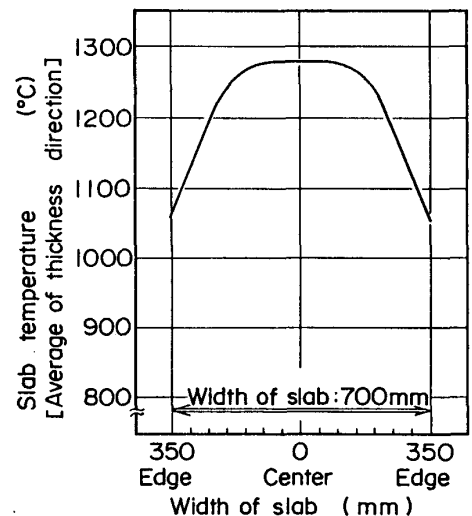


Fig.1 Slab temperature after continuous casting with thermal rising technology

Table 1 Processes between CC and HOT

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Facility for heating	Inline heater		Furnace	
	Gas combustion heating	Induction heating	Furnace for D-HCR	Ordinary furnace
Length of facility	25 m	5.5 m	20 m	40 m
Cross section of facility				
Layout				

を行なった。初期条件として連鑄機出側スラブ温度は Fig. 1 を使用し、熱計算は二次元差分計算を用いた。燃料原単位の推定は、ゾーン法⁹⁾による熱収支計算および試験設備の試験結果により行い、加熱目標温度は製品板厚 2.3 mm の圧延仕上温度が確保できる温度とした。

Table 2 に熱計算の結果を示す。Case 1, Case 2 のインライン加熱方式では、連鑄機出側スラブカッター直後に加熱装置を配置でき、Case 3, Case 4 の加熱炉方式と比べ、加熱開始時のスラブ温度が高い。また、全体加熱を基本とする加熱炉方式に対し、インライン加熱方式は選択加熱（スラブエッジ部の局部加熱）が可能である。以上の結果、インライン加熱方式はトータル熱効率では加熱炉方式に劣っているものの、燃料原単位では優位にたっている。インライン加熱方式のガス燃焼式と誘導加熱方式の比較では、燃料原単位面で

大きな差は認められなかった。一方、加熱炉方式では炉長差が固定ロス分の差に現われ、Case 4 に比べ短炉長の Case 3 が燃料原単位面で優位となる。

なお、検討の際、加熱能率は全て 500 T/H とし、誘導加熱での使用電力は発電効率を加味して熱量換算した。

Table 2 Result of thermal calculation of processes

Item	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Time to transfer from CC to furnace	5 min		15 min	
Maximum heat flux	$1.05 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$	$2.10 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$	$1.00 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$	
Temperature of slab surface: 1000°C	$\alpha = 1.75 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ $T_g = 1600^\circ\text{C}$		$\alpha_{CC} = 0.6$ $T_g = 1300^\circ\text{C}$	
Time for heating	4.8 min	2.5 min	37 min	73 min
Profile of slab temperature				
Thermal efficiency of slab edge (Edge 0~40mm)	5.0 %	5.6 %	3.8 %	3.3 %
Thermal efficiency of slab	11.0 %	2.2 %	3.7 %	3.2 %
Fuel consumption	$1.850 \times 10^4 \text{ kcal/hr}$ $37 \times 10^3 \text{ kcal/T}$	6.700 kWh/hr $(1.700 \times 10^4 \text{ kcal/hr})$ $3.4 \times 10^3 \text{ kcal/T}$ (1.34 kWh/T)	$2.350 \times 10^4 \text{ kcal/hr}$ $47 \times 10^3 \text{ kcal/T}$	$2.750 \times 10^4 \text{ kcal/hr}$ $55 \times 10^3 \text{ kcal/T}$

4. 実操業テストによるプロセス比較

Fig. 2 に福山 5 CCM - 2 H O T のレイアウトを示す。本レイアウトでは、連鑄からの直送圧延（以下 HDR と称す）および連鑄からの加熱炉ダイレクトチャージ（以下 D - H C R と称す。）が可能な配置となっている。よって実操業テストは、シミュレーション計算における Table 1 の Case 1, Case 4 を対象に、Fig. 3 に示す 3 ケースを選定して行なった。Case A は HDR, Case B は # 3 加熱炉を D - H C R 専用炉として運用, Case C は全加熱炉に D - H C R を分散させ C C R との混在加熱を行なったプロセスとなっている。なお、加熱

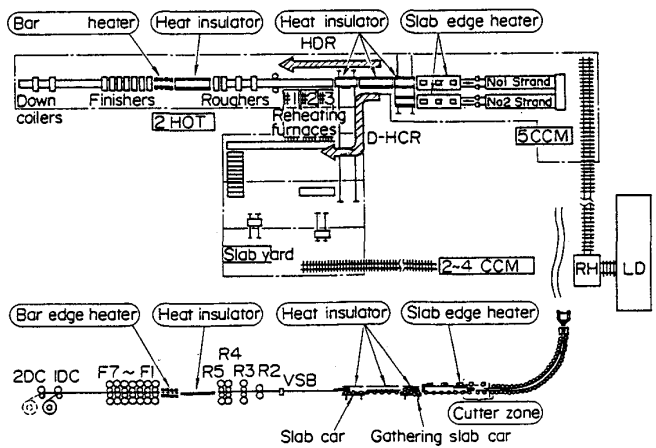


Fig. 2 Layout of Fukuyama 5CCM and 2HOT

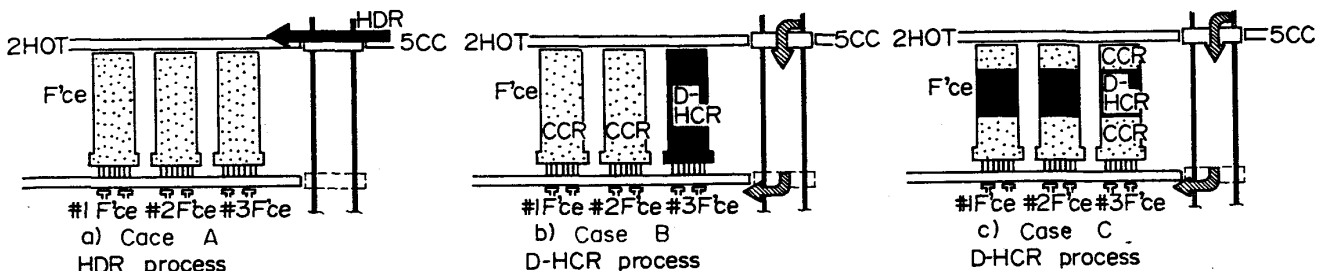


Fig. 3 Variable operation between CC and HOT

炉は有効炉長40m、冷片加熱能力250T/H、熱効率75% (25℃→1,250℃加熱)のウォーキングビーム炉である。実操業テストは各ケースとも連続-熱延直送材(以下プロセス材と称す。)を連続して900TON組み込み、鋼種及び製品寸法は極力統一した。

Fig. 4に実操業テスト時の加熱炉燃料流量、炉内温度、スラブ装入方法など加熱炉操業データの一例を示す。加熱炉へのスラブ装入方法として、Case AではHDR直後の加熱炉材(CCR)の過加熱防止のため、HDR直前の加熱炉材との間に5mのインターバルをとり、Case BではD-HCR材前後を炉長分空炉として操業した。また、Case CではD-HCR材の過加熱を防止するため、D-HCR材前後にそれぞれ10m、5mのインターバルをとった。

各ケースの評価は、プロセス材前後に圧延される非プロセス材(CCR)への影響も考慮し、燃料原単位、スケールロス、被加熱スラブの温度偏差を総合的に評価した。

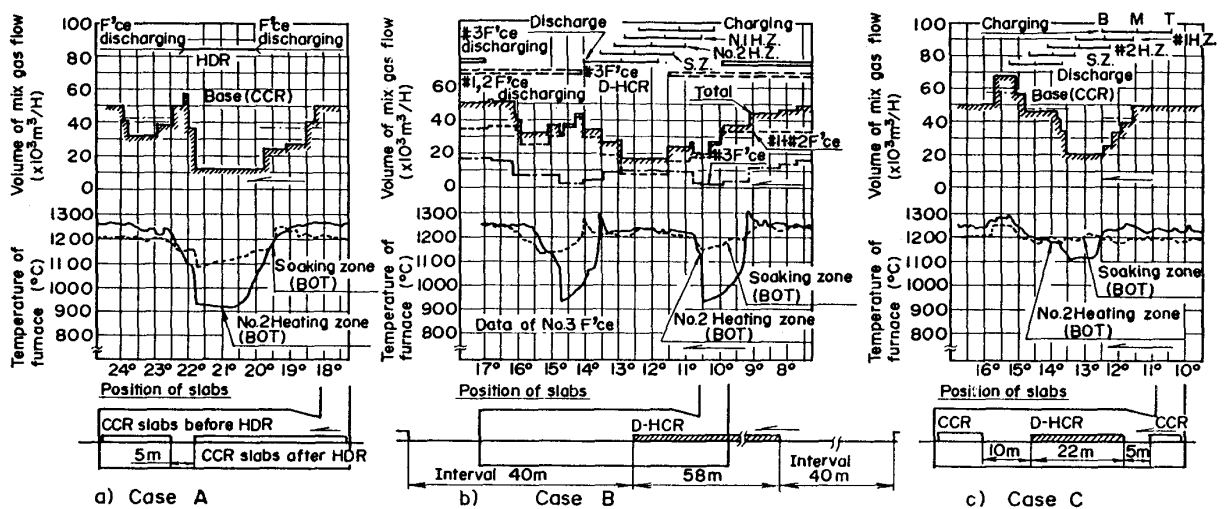


Fig.4 Furnace operation

Table 3に各ケースの燃料原単位結果を示す。Table 3において、非プロセス材への原単位影響分およびプロセス材・非プロセス材トータルの総括燃料原単位は、プロセス材と非プロセス材の生産比率を1:1として実績値を補正して求めた。Table 3より、プロセス単独でみた場合の燃料原単位は、Case AのHDR方式が最も良効であり、次いでCase BのD-HCR専用炉方式の順となっている。

一方、加熱炉保昇熱原単位は、保熱炉数の差により、Case C - Case B - Case Aの順で悪化していく。

なお、保昇熱原単位は加熱炉 Table 3 Fuel consumption of processes

Process between CC and Hot	Case A	Case B	Case C	—
	HDR	D-HCR	D-HCR	CCR
Efficiency	450 T/H·CC	450 T/H·F'ce	180 T/H·F'ce	180 T/H·F'ce
Charging temperature (Slab surface)	—	930 °C	948 °C	25 °C
Fuel consumption				
① Process proper	48x10 ³ kcal/T·HDR (Slab edge heater)	81x10 ³ kcal/T·D-HCR (#3 F'ce)	107x10 ³ kcal/T·D-HCR (#1,#2,#3 F'ce)	270x10 ³ kcal/T·CCR
② Fuel consumption during F'ce downtime	74x10 ³ kcal/T·HDR (#1,#2,#3 F'ce)	53x10 ³ kcal/T·D-HCR (#1,#2 F'ce)	—	—
③ Influence on the normal F'ce material	455x10 ³ kcal/T·CCR (#1,#2,#3 F'ce)	437x10 ³ kcal/T·CCR (#1,#2 F'ce)	8x10 ³ kcal/T·CCR (#1,#2,#3 F'ce)	—
All inclusive fuel consumption	169x10 ³ kcal/T	184x10 ³ kcal/T	193x10 ³ kcal/T	270x10 ³ kcal/T
(HDR or D-HCR : CCR = 1 : 1)				

非抽出時間の正味燃料使用量より求めた。
また、いずれのケースにおいても、加熱炉は保熱または被加熱物装入温度の大きな変動により、非定常な操業を強いられ、その結果プロセス材前後に圧延される非プロセス材は、加熱段階においてその影響を少なからず受ける。これを原単位影響分として

Table 3 中に示した。

以上の項目全てを考慮した総括燃料原単位は、Case AのHDR方式が最も良好であり、次いでCase BのD-HCR専用炉方式、Case CのD-HCR全炉振り分け方式の順となっている。

省燃料とならび歩留向上も直結化の大きなメリットのひとつである。なかでも、プロセスによるスケールロスの違いは大きく、重要な評価項目である。Fig. 5に各ケースにおけるスケールロスを在炉時間と対比させて示した。Fig. 5において、スケールロスは、加熱時間の最も短いCase A・HDR方式が最も良好であり、次いでCase B、Case Cの順となっている。

Table 4 に各プロセスにおける粗圧延機出側温度を示す。Case Aのインライン加熱方式を採用したHDR方式は加熱時の材料搬送をローラテーブルにて連続して行なうため、温度偏差はほとんど生じない。これに比べ、Case B、Case CのD-HCR方式では加熱炉スキッドによる温度偏差（スキッドマーク）が不可避免的に生じる。ただし、この場合でも通常の冷片加熱（CCR）より、その量はかなり軽減される。

5. 結 言

連続熱延の直結化についてシミュレーション計算および実機操

業テストに基づき考察した。その結果、1) 直結材比率が同一の場合、HDR方式はD-HCR方式よりもコスト面で有利である。2) HDR方式では、ガス燃焼式、誘導加熱式双方の顕著な差異は認められなかった。3) D-HCR方式は短炉長、高能率操炉がコスト面で有利である。4) スラブ長手方向温度偏差はHDR方式が最も小さい。などが確認できた。

なお、D-HCR方式におけるシミュレーション計算結果で実績値の差異は、能率差および熱計算境界条件の誤差と思われる。

<参考文献>

- 1) 蜂谷, 浅野他; 鉄鋼界 7月号(1983) 52
- 2) 竹村, 溝口他; 製鉄研究 310(1982) 251
- 3) 寺田, 和田他; 鉄と鋼 71(1985) S156
- 4) 小谷野, 内田他; 鉄と鋼 71(1985) S157
- 5) 大西, 松村他; 鉄と鋼 71(1985) S311
- 6) 谷口, 中村他; 鉄と鋼 71(1985) S316
- 7) 小土井, 寺内他; 塑性加工学会春季講演会(1984) 135
- 8) 小沢, 森他; 鉄と鋼 72(1986) S265
- 9) 山本, 杉山他; 熱経済技術部会加熱炉伝熱研究小委員会報告(1982) 22

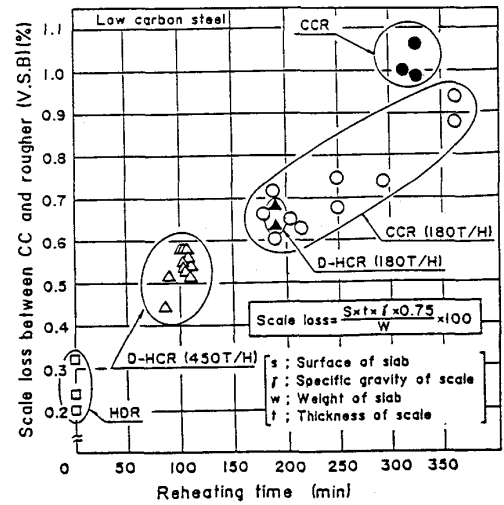


Fig.5 Relationship between scale loss and reheating time

Table 4 Deviation of temperature for each process

Process	Case A	Case B	Case C
	HDR	D-HCR	CCR
Furnace efficiency	450 T/Hr-CC	450 T/Hr-F'ce	180 T/Hr-F'ce
R5 outlet temperature (°C)	11 10 9 8	11 10 9 8	11 10 9 8
Deviation of temperature	av 5°C	av 20°C	av 35°C