

遠隔地直送圧延を可能にする高温連铸 スラブの製造技術

© 1988 ISIJ
 技術報告

森玉直徳*・沖森麻佑巳*・池崎英二*・磯上勝行*²

Production Techniques of High Temperature CC slabs for Remote Direct Rolling

Naonori MORITAMA, Mayumi OKIMORI, Eiji IKEZAKI and Katsuyuki ISOGAMI

Synopsis :

The high temperature slab production techniques to realize the new type of CC-HDR (the remote HDR), in which the caster is located some distance from the mill, are discussed.

In continuous casting ; Firstly, it is required to adopt the optimum slab thickness. Next, the following techniques are indispensable in order to raise the slab edge temperature high enough for remote HDR process ; secondary cooling pattern leaving slab edge not sprayed with water, slab surface reheating by utilization of latent heat of solidification, slab edge insulation in caster, slab edge heating system around cutter equipment.

Slab transportation ; High speed, insulated slab transfer car is advantageous for remote HDR process.

Prior to hot rolling mill ; Jet gas heating system is more advantageous for remote HDR process than induction heating system due to the effective heating of slab cutting section. In addition, longitudinal turning of slab is effective to save energy for slab edge heating.

It is required to efficiently arrange these techniques between caster and hot rolling mill.

Based on the concept mentioned above, a new remote HDR process at Yawata Works in Nippon Steel Corporation has been built and put into operation successfully in June 1987.

Key words : CC-HDR ; remote HDR ; edge temperature ; surface reheating ; edge insulation ; edge heating ; jet gas heating ; induction heating ; slab transfer car ; energy saving.

1. 緒 言

従来の CC-HDR (CC-Hot Direct Rolling) は、新日鉄堺 (1981 年)¹⁾ (Fig. 1A) や日本鋼管福山 (1984 年)²⁾³⁾ のように連铸機を熱延工場の近接して新しく設置し、両工場をローラーテーブルで直結して HDR を実行してきた (近接 HDR)。例えば堺製鉄所の場合は、連铸機機端から熱間圧延機入口までの距離は約 130 m である。一方既存の連铸機と熱延工場は遠く離れている場合が多く、従来の近接 HDR の方式では铸片搬送に伴う铸片端部の温度降下が大きく、遠隔地への HDR は不可能と考えられてきた。例えば Fig. 1B) のように八幡第三製鋼工場の連铸機は熱間圧延機入口と約 620 m 離れており、両工場を結んでいる既存のローラーテーブルによりスラブを搬送して HCR (Hot Charge Rolling) が実施されて

いたが、それを利用した HDR は実行できなかつた。従って距離を克服して遠距離 HDR を実行するには、近接地 HDR 以上の铸片幅端部 (以降、幅端部を端部と略す) 温度の上昇と降下防止技術の確立が要求されていた。

本論文では CC-HDR を実現するのに必要な铸片の温度確保の観点から、連铸から熱間圧延に至る技術構成とその基本的な考え方を述べ、これを基に遠隔地 HDR を可能とする高温铸片製造技術について検討する。さらに遠隔地 HDR の実施例として 1987 年 6 月に稼動開始した新日鉄八幡製鉄所における新しい HDR について報告する。

2. CC-HDR の温度確保技術の構成と基本的な考え方

CC-HDR は連铸工程で製造された铸片を直ちに圧延

昭和 62 年 10 月 22 日受付 (Received Oct. 22, 1987)

* 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*² 新日本製鉄(株)堺製鉄所 (Sakai Works, Nippon Steel Corp.)

工程に送り込み製品まで圧延する直結プロセスであり、その温度確保技術の構成は Fig. 2 に示されている。当図に従って、連鑄機から圧延機入口までの CC-HDR の温度確保技術の基本的な考え方と、近接 HDR を発展させてさらに遠隔地 HDR を実行するために必要な技術について以下に述べる。

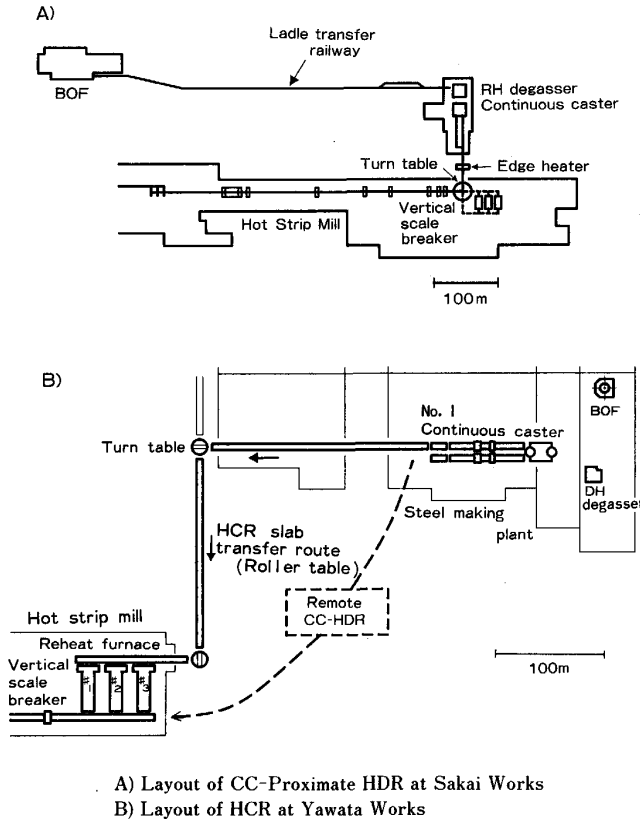
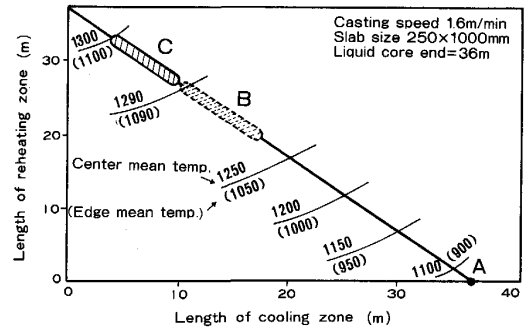


Fig. 1. Layout of continuous caster and hot strip mill.

(1) 連鑄工程では高温無欠陥鑄片を製造する必要がある。高温鑄片製造については、HDR を実行するために特に連鑄機の機端までに主要な対策が採られてきた。新日鉄堺製鉄所での近接 HDR において、鑄片の幅中央部と端部について、HDR を実行しない通常法よりも冷却ゾーンの長さを短縮して、下部冷却ゾーンの水量密度を大幅に下げて鑄造する方式が開発された。特に下部冷却ゾーンにおいて、凝固殻の復熱のために溶鋼の凝固潜熱を有効に活用する方法(未凝固復熱法)と、連鑄機内に保温カバーを設けて鑄片端部からの熱放出を極小にする方法等が採用された。Fig. 3 は上述の考え方をまとめたものであり、凝固完了点長さ 36 m の場合を示している⁴⁾。右下の点 A は従来の通常の冷却の場合で、鑄片断面平均温度については、幅中央部は 1100°C、端部 40



Liquid core end 36 m by conventional cooling method		A
Surface reheating from liquid core in HDR process	Center temp. control	B
	Edge temp. control	C

Fig. 3. Relationship between length of secondary cooling zone and slab temperature.

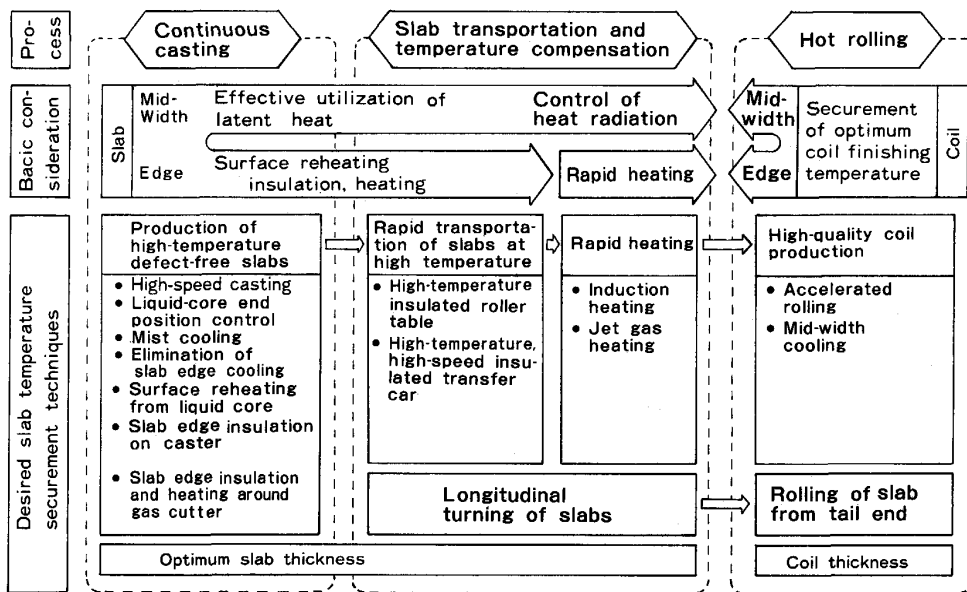


Fig. 2. Composition of techniques for securing desired slab temperature in CC-HDR process.

mm は 900°C が得られている。これに対して HDR での高温鋳片製造においては、鋳片幅中央部では点線 B で示されるところまで冷却ゾーンを短くすることができ、中央部断面平均温度として 1260~1290°C を得ることができる。幅方向端部については実線 C のようになり、到達できる端部断面平均温度として 1090~1100°C が可能である。このように未凝固復熱法を採用することにより従来法に対して中央部と端部で 160°~200°C の温度上昇が可能である。具体例として Fig. 4 のように、鋳片幅中央部の 2 次冷却ゾーン長さを半分とし下部冷却ゾーンの水量密度を大幅に低減した HDR 用冷却パターンで铸造した場合の、モールドから機端までの鋳片の温度変化を Fig. 5 に示す。この図から明らかなように未凝固復熱を実施する 2 次冷却帯出口付近から、厚み及び幅方向中央部の表面温度は復熱上昇していることがわかる。以上のような未凝固復熱法を採用した場合、鋳片の幅中央部の温度は高く熱間圧延を実施するには熱量的に余裕があるが、鋳片の端部温度は中央部よりも大幅に低く余裕がない。従って今後遠隔地 HDR を実行する場

合、幅中央部については、遠隔地への鋳片搬送時間が長くなる時も熱量的に十分であるかの検討が必要であるが、端部については、近接 HDR の場合以上に温度を高めることが課題となる。上述の諸方式はいずれも連铸機の機端までの対策であり、今後は特に切断装置周辺の対応策が必要である。

(2)次に連铸機以降では、鋳片を迅速に熱延工場に搬送すると同時に、特に鋳片端部での復熱と保温強化が必要となる。従来の近接 HDR では連铸と熱延間はローラーテーブルで連結されていた。一方遠隔地 HDR には当方式は温度降下が大きいことから採用しがたく、より迅速な高保温性能を持つ搬送手段が必要となる。

(3)熱間圧延機の入口では、鋳片温度が圧延工程から要求される温度に到達してなければならない。この鋳片に要求される温度は、圧延操業面と結晶粒度やスケール発生などの品質面を考慮してコイル板厚ごとに最適な仕上げ温度が確保できるように、鋳片の幅中央部と端部の両方について設定される。前述のように鋳片端部温度は中央温度より低く圧延入口の要求温度には不足しており、圧延機直前により迅速に昇温可能な端部加熱装置を設置し、温度を補償する必要がある。特に遠隔地 HDR では、鋳片の幅端部と共に前後切断面の温度降下も大きく、当部分の温度補償も考えた対応技術が必要となる。

3. 遠隔地 HDR を可能とする高温鋳片製造技術

3.1 最適鋳片厚みと铸造速度

鋳片の凝固が完了した時の中心部の温度は、ほぼその固相線温度に等しく、冷却方法が同じである場合は断面厚み方向の温度勾配が同じとなり、鋳片厚みの厚いほど表面温度は低下する。一方凝固完了後は断面に対して放熱面積の小さくなる鋳片厚みの厚い鋳片ほど温度降下は少ない。上に述べたことから、凝固完了までの時間と凝固完了から圧延までの時間に対応して、直送圧延に適した最適な鋳片厚みが決定される。この考えを基に遠隔地 HDR に適した鋳片の厚みを求めるために鋳片温度と鋳片厚み、搬送時間の関係について伝熱モデルによる計算

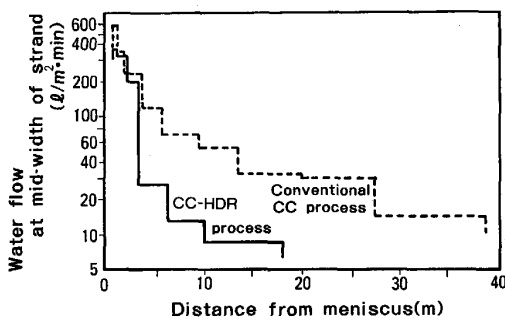
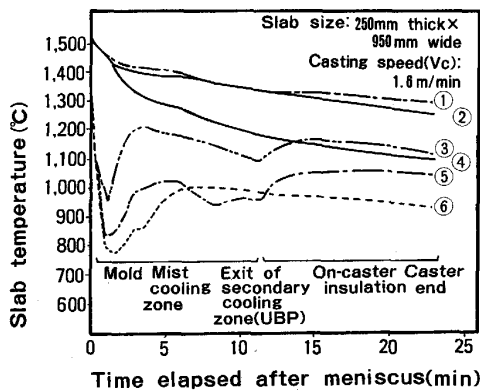


Fig. 4. Comparison of cooling pattern between conventional CC and CC-HDR process.



- ① Mean slab mid-width ② Cross-sectional
- ③ Mid-thickness surface ④ Mean at 40 mm from edge
- ⑤ Mid-width surface ⑥ Surface at 40 mm from edge

Fig. 5. Change in slab temperature from meniscus to caster end in CC-HDR process.

Table 1. Simulation conditions of slab temperature.

Item	Condition
Slab width (mm)	1 000
Specific water flow (l/kg)	0.62
Molten steel temperature (°C)	1 520 (T_{SL} : 1 490)
Heat transfer coefficient (kcal/m ² ·h·°C)	Inside of caster $h=10$ Outside of caster $h=30$
Slab thickness (mm)	100 150 210 250 300
Casting speed (m/min)	4.0 2.64 1.90 1.60 1.33
Caster end	Liquid-core end

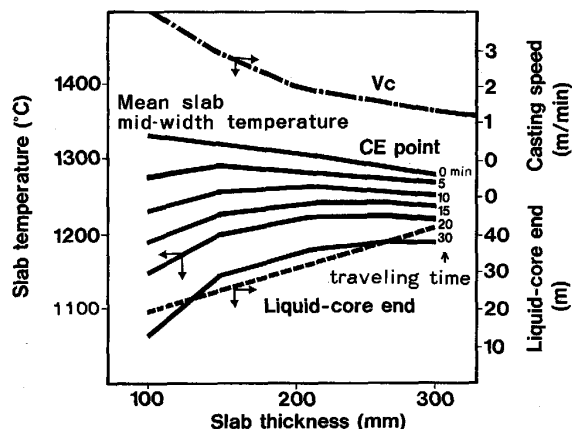


Fig. 6. Relationship between slab thickness, temperature and traveling time.

を実施した。その条件を Table 1 に、結果を Fig. 6 に示す。ここで連铸機の生産性を一定とするために、250 mm 厚みで铸造速度 1.6 m/min をベースとして各铸片厚みの铸造速度を決定した。その結果は Fig. 6 に示すように铸片厚みが 100 mm 程度の薄い場合は凝固完了時点での铸片の幅中央部の平均温度は 1300°C と高いが、その後の搬送中での温度降下は 100°C/10 min と大きく、逆に铸片の厚い方が温度的には有利となる。従つて、例えば連铸機機端から圧延機入口までの搬送時間が、10~30 min 程度の遠隔地への CC-HDR を実行するには、200~300 mm 厚みで最も効率的に高温铸片を得ることができる。

3.2 铸片端部温度補償技術

3.2.1 铸片未凝固末端部制御

溶鋼の凝固潜熱を有効に利用し、高温铸片を得るためには铸片未凝固末端部(クレーターエンド)を可能な限り連铸機機端に近づけることが重要である。このため電磁超音波を使用し直接凝固殻厚みを測定することにより、クレーターエンドの位置と形状を推定する技術(EMUST: Electro Magnetic Ultra Sonic Testing)が開発された⁵⁾。铸片の端部を高温とするためには、クレーターエンドが幅中央部よりも、両端部に突き出ている形状となっていることが望ましい。このような観点から铸片幅方向中央部に重点的に水をかけ、端部近傍には水をかけない2次冷却パターンを採用した時のEMUSTの測定から得られたクレーターエンドの形状を Fig. 7 に示す。この図が示すように、クレーターエンドの形状は2重山形を示し、端部の凝固完了点が突き出ているのは上述の効果を示している。この時の機端における端部から 40 mm 点での铸片表面温度は、Fig. 8 に示すようになり、従来法に対して約 80°C 高めることが可能となった。

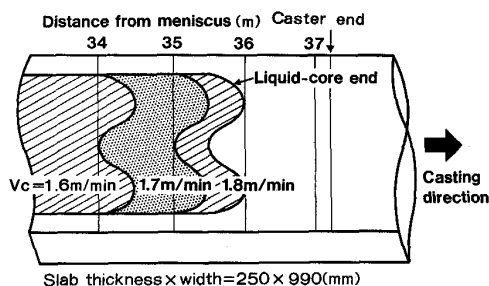


Fig. 7. Shape of liquid-core end as estimated by EMUST technique.

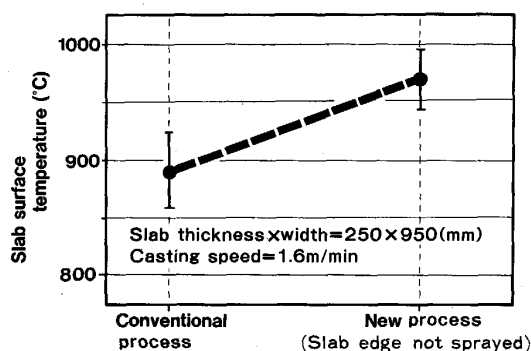


Fig. 8. Surface temperature at 40 mm from slab edge at caster end.

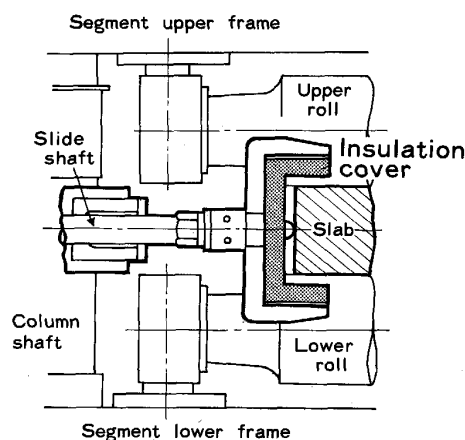
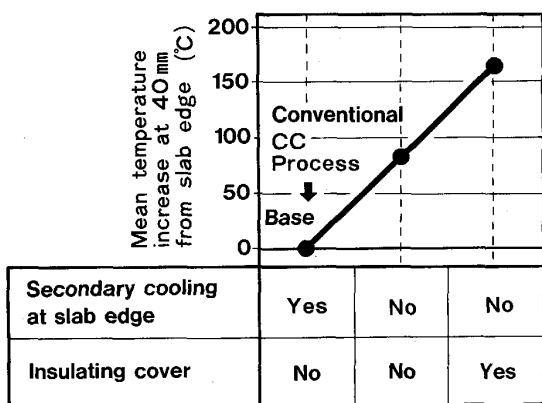


Fig. 9. On caster insulation

3.2.2 铸片端部保温及び加熱技術

(1) 連铸機機内保温技術

連铸機機内で铸片端部の温度を上昇させる技術として、Fig. 9 に示すように未凝固復熱部で端部を保温する方式(機内保温)が開発され実機化されている¹⁾。当装置はスラブの幅に応じて前進後退して铸片との間隔を常に一定に保持でき、対流及び輻射伝熱を防止する。铸片と断熱材の間隔が 30 mm 以内に保持されていれば平均の伝熱係数は $h=35 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ 程度となっている。前述の铸片の端部近傍に水をかけない2次冷却パターンと機内保温を採用した時は、Fig. 10 に示すように铸片



Slab thickness = 250 mm
Slab width = 1100 mm
Casting speed = 1.6 m/min
Fig. 10. Effect of insulating cover.

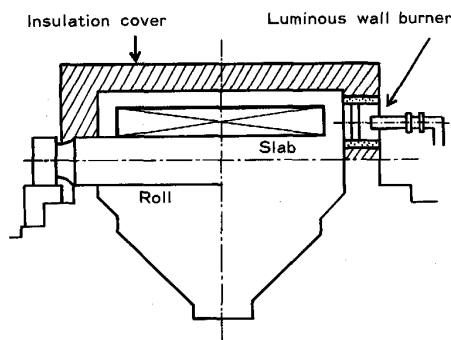


Fig. 11. Gas heating near cutting zone.

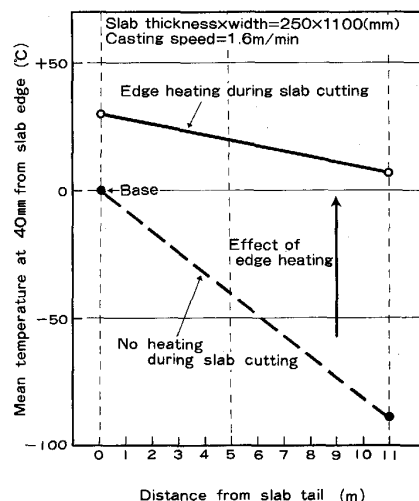


Fig. 12. Effect of edge heating during slab cutting.

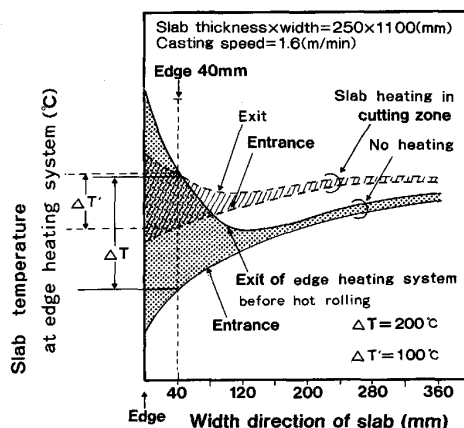


Fig. 13. Effect of slab heating in cutting zone.

端部温度を約 165°C 上昇可能である。

(2) 連铸機切断装置周辺の加熱技術

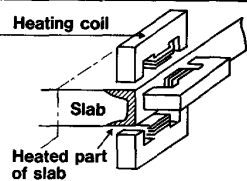
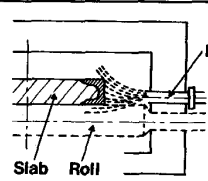
連铸機機端以降の切断中に鑄片の温度降下が大きくなることに対して、切断装置の周辺で鑄片を加熱する方法が有効な手段となる。特に既存の連铸機で機端と切断装置が遠く離れている時は切断装置の前後に加熱装置を設置する(後述 Fig. 15 参照)が必要である。Fig. 11 は新日鉄八幡第3製鋼の機端と切断装置の遠く離れている連铸機における、切断装置前後の加熱装置(ルミナスウォールバーナー)を示しており、輻射伝熱により鑄片を加熱することが可能である。本方式の採用により、以下に述べる二つの効果を得ることが可能である。①本方式は鑄片幅中央の高温の熱量を端部に効率的に復熱させることを可能とし、長さ方向の偏熱が抑制される。特に長さ方向については、切断中に鑄片のフロント側の放冷時間がテイル側より長く、鑄片長さ、鑄造速度、カッター部の保温状況に依存してフロント側の温度が低くなる。この問題に対して Fig. 12 に示すように、長さ 11 m の鑄片の端部温度に関しては、加熱のない場合に、長さ方向に約 90°C の温度傾斜を持っているが、本方式

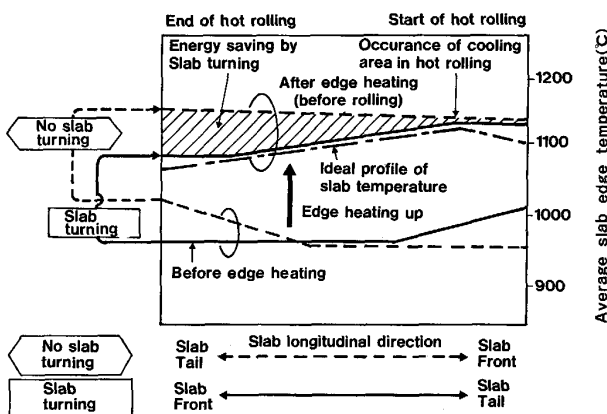
を採用することによりそれが約 20°C に緩和されている。幅方向については本方式により鑄片端部と中央部の温度が上昇して、特に端部の AlN 析出が抑制され品質上の対策として有効である。②本方式を連铸機側で採用すると、後述する熱延前の端部加熱装置の熱効率が高くなる。すなわち Fig. 13 に示すように、連铸機側の加熱の無い時の鑄片端部 40 mm における必要昇温量 200°C は、本方式により 100°C に半減して、必要なトータルエネルギーは網目部から斜線部となり大幅に削減される。その結果として熱延側の端部加熱装置の長さ短縮による設備費の削減も可能となる。以上のように連铸機の切断装置周辺の加熱技術は従来より温度降下の大きくなる遠距離 HDR では有効な手段となる。

(3) 熱延直前の端部加熱技術

従来の近接 HDR において熱延直前の鑄片端部温度補償技術として、新日鉄堺製鉄所では誘導加熱方式が¹⁾、一方日本鋼管福山製鉄所では噴流加熱方式が採用されて

Table 2. Comparison between induction heating and jet gas heating.

Item	Induction heating	Jet gas heating
Equipment		
Heating time	Short heating	A little longer heating at high temperature
Heating pattern control	By core arrangement and power control	By combustion gas control
Flexibility for slab width change	By core arrangement control	By gas flame control
Cutting section heating	No	Yes
Maintenance	Coil (maintenance)	Refractory (maintenance)
Air pollution (NOX)	—	No pollution by use of low NOX burner
Scale loss	No problem for operation	No problem for operation



Slab thickness \times width = 250 \times 1100 (mm)

Fig. 14. Energy saving by slab turning.

いる³⁾。両方式の比較を Table 2 に示す。誘導加熱方式に対する噴流ガス加熱方式の利点としては、鑄片切断面の加熱が可能で、鑄片の幅変化に関する設備費が安いこと等が挙げられる。遠隔地 HDR では前述のように端部温度が不足してくることに加えて、鑄片の切断面温度の降下も大きくなる。従って遠隔地 HDR を大量に実行する時は噴流ガス加熱方式が有利である。一方将来、冷却工程での大圧下や、なおいつその高温鑄片製造技術が進歩し、熱間圧延の操業と品質面からの要求が厳しい鋼種だけが端部加熱が必要となった場合は加熱 ON-OFF の迅速にできる誘導加熱方式が有利となる。後述する新日鉄八幡製鉄所での大量の遠隔地 HDR の実

行については噴流ガス加熱方式が採用されている。

3.3 鑄片長手方向の前後逆転

遠隔地 HDR においては、前に述べたように鑄片の長さ方向の温度降下も問題となってくる。熱間圧延では圧延初期側に最冷点が出るために相当鑄片部の温度を高くする必要がある。HDR では Fig. 14 に点線で示すように、先に鑄造された温度の低い鑄片フロント側が先に圧延される場合、圧延の最冷点に鑄片の低温部が一致し温度的に不利になるので、実線で示すように鑄片の前後を反転することが有効である。反転の有無に応じて熱延直前の鑄片端部加熱において鑄片の最冷点部温度を確保するように加熱する時、鑄片の反転を実施すれば Fig. 14 の一点鎖線で示す理想的な加熱温度に近づくこととなり余分に入熱する必要がなく、図中斜線に相当する部分の省エネルギーを促進することが可能である。鑄片の反転を可能とする遠隔地 HDR のレイアウトとしては、ターンテーブルの設置や台車搬送の場合におけるスイッチバック法の採用などが考えられる。

3.4 高保温・高速度走行台車

遠隔地 HDR における連鑄から熱延までの距離を克服する方策として、連鑄機で切断された後の鑄片を高保温状態に保ちながら、高速度走行できる台車で搬送する技術が新日鉄八幡製鉄所で開発され稼動している。従来の近接 HDR で採用されているローラーテーブルと当台車の搬送比較を Table 3 に示す。特に問題となる鑄片の端部と切断面の温度については、台車方式の場合は高保

温のボックスの中で復熱される。遠隔地 HDR では台車方式がローラーテーブル方式よりも有利である。

3.5 遠隔地 HDR の設備配置の最適化

遠隔地 HDR を実現するためには、以上に述べてきた高温鋳片製造技術を連铸機から熱延工場の中に最も効率的に配置しなければならない。特に熱延前の鋳片端部加熱装置の配置としては、連铸機側と熱延工場側の二つの場合が考えられるが、「連铸機→高保温・高速度走行台

Table 3. Comparison between roller table and transfer car in slab transportation over 1000 m distance from continuous caster to hot strip mill.

Item	Roller table	Transfer car
Transportation speed (m/min)	Max 90 Average 70	Max 250 Average 200
Distance (m)	1000	1000
Time (min)	14.5	5
Efficiency of insulation (kcal/m ² ·h·°C)	Average h=81	Average h=10
Temperature change at 40 mm from slab edge (°C)	Average -180	Average 4
Temperature change of cutting section of slab	Large	Small
Precipitation of AlN	Yes	No

車による鋳片の搬送→ターンテーブルによる鋳片の前後反転→噴流ガス加熱による端部と切断面の加熱」のような順序で熱延側に配置する方が熱効率と操業に対する柔軟性から有利である。Fig. 15 は、この考え方に基づいた新日鉄八幡製鉄所での遠隔地 HDR における設備配置である。

4. 新日鉄八幡製鉄所における遠隔地 HDR

新日鉄八幡製鉄所では、堺製鉄所で確立された近接 HDR をさらに発展させた遠隔地 HDR の開発を終え、実機稼働を 62 年 6 月より開始している。Fig. 16 は八幡製鉄所での第 3 製鋼工場 No. 1 連铸機 (2 スtrand、鋳片厚み 250 mm) と熱延工場を結ぶ遠隔地 HDR のレイアウトである。連铸機で製造された高温鋳片は、トラバーサー (1 台) と高保温・高速度台車 (2 台/2 線路) により迅速に熱延工場に搬送される。搬送された鋳片は熱延直前の噴流ガス加熱設備で急速に加熱され、幅中央部と端部の温度がほぼ同一となった後、直ちに圧延機に送られる。当 HDR における温度の推移の一例を

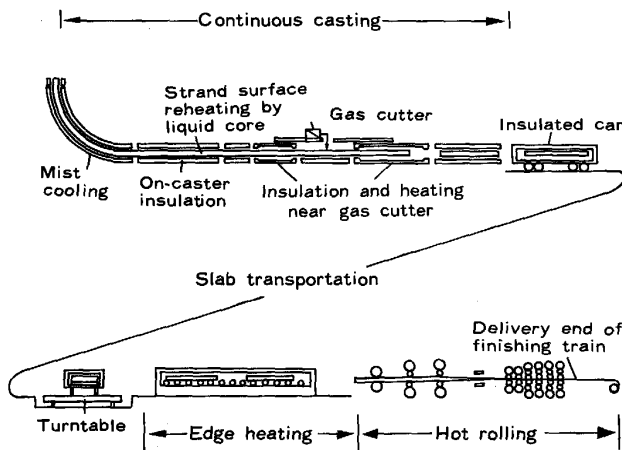


Fig. 15. Equipment layout of remote HDR process at Yawata Works.

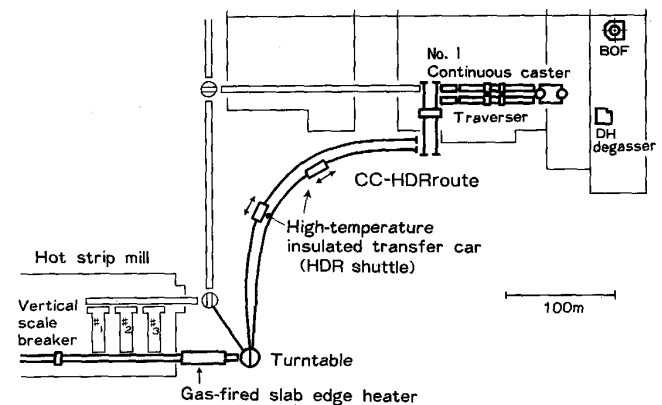


Fig. 16. Remote HDR process at Yawata Works.

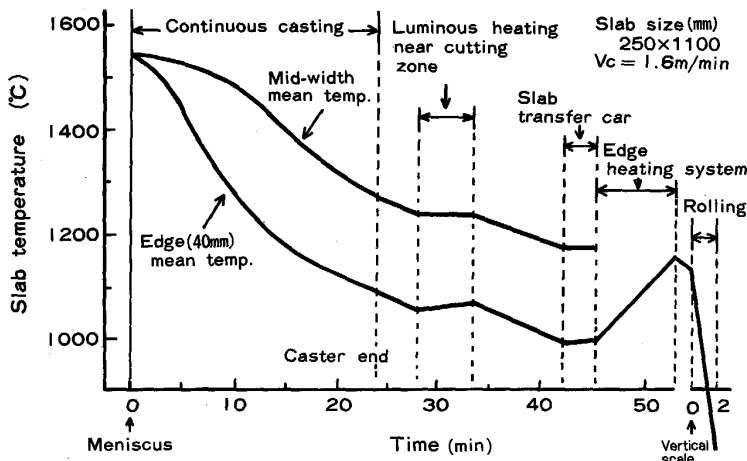


Fig. 17. Slab temperature change (by calculation) in remote HDR process at Yawata Works.

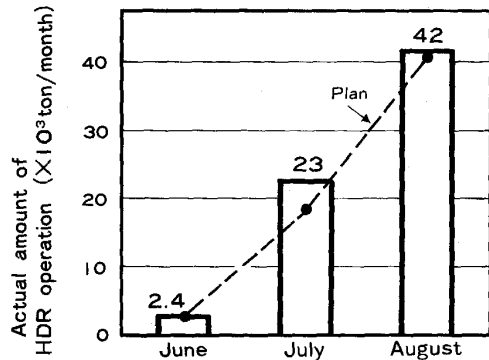


Fig. 18. Start up of Yawata remote HDR operation.

Fig. 17 に示す。連铸機機端から熱延直前の端部加熱装置入口までの距離は約 430 m で铸片搬送の所要時間は約 23 min (内約 2 min がトラバサと高速台車の搬送時間) で、その間の铸片幅中央部と端部の温度降下は約 100°C である。熱延直前での端部の加熱時間約 6~7 min を入れると、铸片は機端から約 30 min 後には圧延機入口に到達している。6月の立上げ以後現在(87年9月)まで、Fig. 18 のように当初計画に従って HDR 量の拡大を推進中である。遠隔地 HDR を実行した時の省エネルギーについては、薄板材普通鋼の場合、従来のローラーテーブル搬送による加熱炉経由 HCR における燃料原単位約 110×10^3 kcal/t が、約 40×10^3 kcal/t に大幅に削減されている。

5. 結 言

遠隔地 HDR を実現するために必要な高温铸片製造技術に関する検討は次のように要約される。

(1) 遠隔地 HDR を行う場合は、铸片搬送時間が重要な要因となり、10~30 min 程度を要する場合の铸片厚みは 200~300 mm が有利である。

(2) 铸片端部に水をかけない2次冷却パターンと未凝固復熱及び機内保温技術を採用すると従来より端部温度を約 165°C 高めることが可能である。

(3) 連铸機の切断装置周辺の加熱は铸片の偏熱防止、AIN 析出抑制、トータルエネルギーの削減等の見地から有効な手段である。

(4) 熱延前の端部加熱技術については、大入熱の必要な大量の遠隔地 HDR を実施するにはガス加熱方式が有利である。将来の技術進歩により熱間圧延での要求の厳しい鋼種のみ端部加熱が必要な場合は簡単に ON-OFF 可能な誘導加熱方式が有利である。

(5) 熱的見地から連铸機と熱延入口間で铸片を反転することが有効である。

(6) 搬送手段として高保温・高速度台車の導入は、遠隔地 HDR の実現を可能とする。

(7) 高い熱効率と柔軟性のある操業が可能な遠隔地 HDR を実現するためには諸設備の最適な配置が必要である。

省エネルギーをはじめとするコスト削減、省力化、ならびに新しいメタラジーの展開を可能とする遠隔地 HDR が新日鉄・八幡製鉄所で実用化された。今後、遠隔地 HDR が幅広く既存の連铸機と熱延工場の間で導入されていくことを期待したい。

文 献

- 1) 蜂谷整生, 中島浩衛, 山口武和: 鉄と鋼, 68 (1982), S209
- 2) 内田繁孝, 谷口 勲, 和田 勉, 竹中正樹, 小澤宏一, 手嶋俊雄: 鉄と鋼, 72 (1986), A171
- 3) 小谷野敬之, 白谷勇介, 内田繁孝, 和田 勉, 政岡俊雄: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 2233
- 4) 松永 久, 吉井正孝, 貞広真二, 齊藤 実, 福田武幸: 製鉄研究 (1984) 313, p. 1
- 5) 吉田 透, 厚見 直, 大橋 渡, 加賀谷幸司, 椿原 治, 曾我 弘, 川島捷宏: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 1123