

討 7

高温無欠陥鋳片製造技術について

新日本製鐵(株)本社 製鋼技術部 工博○榎原 治
 八幡製鐵所 沖森真弓、池崎英二
 堺 製鐵所 武田 章、磯上勝行、仁木隆司

1. 緒 言

近年、進歩の著しい連鑄-熱間圧延の直結化技術の中で、無欠陥鋳片製造技術を前提に、ここでは高温鋳片製造技術を取り上げるとともに、これら鋳片の高温化にともない新たに発生する内部割れの対策について述べる。

2. 高温鋳片製造に関する基本的考え方

連鑄工程で製造された鋳片をそのまま圧延工程に送り込み、製品まで圧延する直結プロセスにおいては、高温の鋳片を製造し圧延機前で圧延可能な温度を確保することが必須条件である。

この直結プロセスの目標とする温度水準は、圧延工程の長さ(圧延時間)や、圧延機的能力によって異なる。鋳片の全断面平均温度でみると、例えば圧延工程の長さ(VSB~コイラー)が約500mの圧延機(当社堺)では、1200℃程度が下限である⁽¹⁾が、約390mの圧延機(当社八幡)では、1170℃程度が下限である。

また、高温鋳片の製造時、鋳片巾方向の中央部は熱量的には余裕があるが、鋳片端部においては熱量は限りなく不足しており、この端部の高温を得ることが最大の課題といえる。

この問題を解決する方策として、二つの方法が考えられる。一つは、保温カバーを設け、鋳片からの熱ロスをミニマムに抑えるとともに、溶鋼の凝固潜熱を凝固シユルの復熱のために有効に活用する方法である。いま一つは、鋳片の端部のみの加熱装置を設け温度を補償する方法である。以下にこれらの方法について述べる。

3. 高温鋳片製造技術

3.1 高温鋳片製造技術

3.1.1 高温鋳片の圧延工程への供給

圧延機前での鋳片温度は、鋳片の含熱量、表面からの放熱量と、連鑄機から圧延機までの搬送時間に左右され、これらは鋳片の厚みに依存している。

鋳片温度と鋳片厚み、搬送時間の関係についてシミュレーションを行った。その条件をTable 1に、結果をFig.1に示す。ここで連鑄機の生産性を一定とするために、250mm厚で鑄造速度(Vc)=1.6m/minをベースにして、各鋳片厚みのVcを決定した。

凝固完了時点では、鋳片厚の薄い方が鋳片の中心と表面の温度差が小さくなり鋳片温度は高くなる。逆に凝固完了後は、鋳片厚の厚い方が放熱量が小さくなり高温鋳片には有利になる。

したがって、連鑄機機端から圧延機入口までの搬送時間が、10~30分程度であれば250mm厚近傍で最も効率的に高温鋳片を得ることができる。薄物連鑄機と圧延機との直結プロセスを考える場合には、極めて短時間での鋳片輸送が必要である。

一方、鋳片温度はVcに大きく依存しているが、鋼種ごとの品質制約等によりVcが決定されるので、今後、直結プロセス用の連鑄機は、最小のVcでも直結可能な高温鋳片が製造できるように設計されなければならない。

Table 1 Simulation condition for slab temperature

Item	Condition
Slab width	1,000mm
Cooling intensity	0.62 t/kg
Hotten steel temperature	1520°C (TSL:1490°C)
Heat transfer coefficient	Inside of caster h=10kcal/m ² .hr.* Outside of caster h=30kcal/m ² .hr.*
Slab thickness	100mm 150mm 210mm 250mm 300mm
Casting speed	4.0%/min 2.64%/min 1.90%/min 1.60%/min 1.33%/min
Machine End	- Liquid-core end

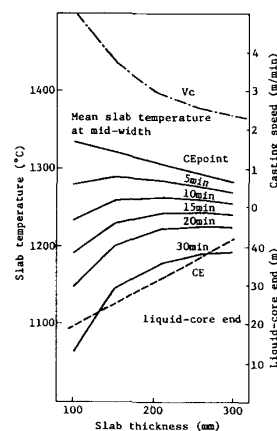


Fig. 1 Relation among slab thickness, temperature and travelling time

3.1.2 遠隔地DRを可能とする条件

当社堺製鐵所や日本鋼管福山製鐵所では、連鑄機を熱延工場に近接して設置し、ローラーテーブルで両工場を直結してDRを実施してきた。一方、既存の連鑄機と熱延工場は遠く離れている場合が多く、従来方式では鑄片輸送に伴う温度降下の点から、CC-DRは不可能とされてきた。

この問題を解決する方策として、切断後の鑄片を高保温状態に保ち、距離を克服するために高速度走行が出来る台車で搬送する技術が近年検討されている。ローラーテーブルと台車の搬送比較をTable 2に示す。特に問題となるエッジ温度については高保温ボックスの中で復熱され、遠距離DRにはローラーテーブル方式よりも台車方式が有利である。

Table 2 Comparison of slab transportation method between roller table and slab car in the case of 1000m distance from caster to hot strip mill.

Item	Roller table	Slab car
Transportation speed	MAX 90m/min average 70	MAX 250m/min average 200
Distance	1000m	1000m
Time	14.5min	5min
Efficiency of insulating	average h=81kcal/m ² .hr.°C	average h=10kcal/m ² .hr.°C
Temperature descent of 40mm section from slab edge	average -180°C	average 4°C
Temp. descent of cutting section of slab	large	small
Precipitation of AlN	occur	not occur

さらに遠隔地型のCC-DRにおいては、鑄片の長手方向の温度降下も問題となってくる。鑄片のフロント側の放冷時間がテイル側より長く、鑄片の長さ、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。熱間圧延初期側に最冷点ができるため、相当鑄片部の温度を高くする事が必要である。一般に直結プロセスでは先に鑄造された温度の低いフロント側が先に圧延され、温度的に不利となるので、鑄片の前後を反転することが有効である。鑄片を反転することを可能とするCC-DRのレイアウトとしては、ターンテーブル設置や台車方式の場合ではスイッチバック法の採用が考えられる。さらにエッジ加熱において鑄片の最冷点部温度を確保する場合、鑄片の反転を実施すればFig.2のように余分に入熱する必要がなく省エネルギーを促進する事が出来る。

3.2 鑄片端部温度補償技術

3.2.1 鑄片未凝固末端部制御

溶鋼の凝固潜熱を有効に利用し、高温鑄片を得る為には鑄片未凝固末端部(クレーターエンド:CE)を可能な限り連鑄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シェル厚みを測定することにより、CEを推定する技術(EMUST)⁽²⁾が開発された。

一方通常、CEは鑄片幅方向中央部が突き出した形状となっているが、鑄片の端部を高温にする為には、むしろ幅方向の両サイドが突き出した形状にする方が望ましい。このような観点から、鑄片幅方向の中心部分に重点的に水をかけ、端部近傍には水をかけない二次冷却パターンを採用した時の、EMUSTから得られたCEの形状をFig.3に示す。この時の機端における端部から40mm点での鑄片表面温度はFig.4のようになり、従来法に対し鑄片温度を約85℃高めることが可能となった。

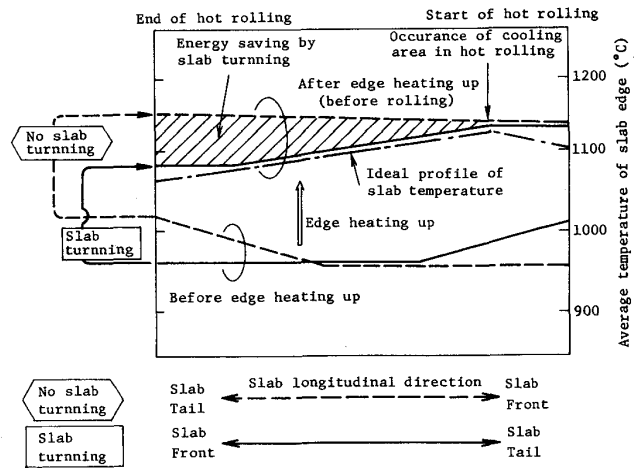


Fig. 2 Energy saving by slab turning

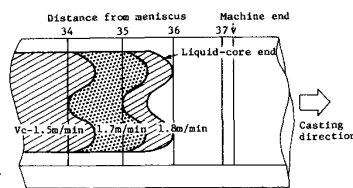


Fig. 3 Shape of liquid-core end by means of EMUST

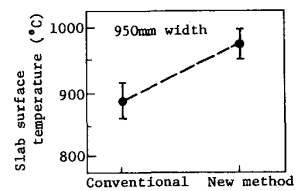


Fig. 4 Slab surface temperature at 40mm distance from Slab edge at machine end

3.2.2 鋳片端部加熱技術

(1) 連鋳機内保温強化技術

連鋳機内で鋳片の端部の温度を上昇させる技術として、未凝固復熱部で端部を保温する方式（機内保温）が広く採用されている。機内保温に加えてガス加熱方式⁽³⁾を導入すれば、端部の冷却を抑制することが出来、特にA δ Nの析出防止が厳しく要求される材質については有効であり、Fig.5に示すよう従来法に対して約200℃の温度上昇が可能となる。

(2) 連鋳機の切断機周辺における加熱技術

連鋳機の周辺で、切断前の鋳片を加熱することは〔1〕鋳片巾中央部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、端部のA δ N析出が防止され、巾と長手方向の偏熱が抑制される、〔2〕熱延前の端部加熱の熱効率が高くなり、Fig.6に示すように連鋳機の切断機周辺の加熱と合わせてトータルエネルギーの削減が可能となり、エッジ加熱装置の長さ短縮も可能となる、等の効果がある。特に既存の連鋳機で機端と切断機が離れていて、切断中に鋳片の温度降下が大きい場合への対応策として、この技術は有効な手段である。

(3) エッジ加熱技術

当社堺製鐵所におけるCC-DRにおいては、端部温度補償技術として短時間に昇温可能な誘導加熱方式を採用した。一方Table 3に示すように噴流ガス加熱式は設備投資面、さらに大量のCC-DRを実行する上で有利である⁽⁴⁾。将来、冷延工程での大圧下や、なお一層の高温鋳片製造技術が進歩し、厳格材だけが端部加熱が必要となった場合はON-OFFが迅速に出来る誘導方式が有利となる。今後、両方式はそれぞれの長所を生かしながら種々のタイプのCC-DRに適用されると考えられる。

3.3 高温鋳片製造時の内部割れ対策

鋳片温度を高めることは、バルジング及び矯正時の内部歪を増加させ内部割れの発生に対し不利であるため、従来、ロールピッチ短縮、多点矯正などの対策がとられてきた。ここでは圧縮鋳造(CPC)及び鋳片のL面とF面で冷却の程度に差をつける2次冷却法(L/Fアクション:L/F)の鋳片歪みに与える影響を、機内の鋳片変形挙動の解明により調査した。

(1) CPC効果

連鋳機内の駆動ロールに突起を設け、鋳片表面に生じるディンプルマークを測定し、次式により表面歪を求めた。

$$e(\%) = (l_m - l_0) / l_0 \times 100$$

但し、e:鋳片表面歪 l_m :ディンプルマーク間隔 l_0 :ロール間長
試験鋳造条件をTable 4に示す。各ディンプルマーク間隔の差から矯正中の表面歪の変化を求めてFig.7に示す。圧縮鋳造の場合は、矯正の中立軸がL面側に移動し、表面歪は圧縮側へシフトする。

(2) L/F効果

前述の連鋳機で、CPCとL/Fの組み合わせ試験を行った。試験

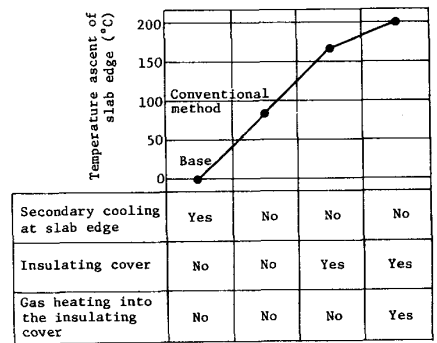


Fig. 5 Effect of gas heating into the insulating cover

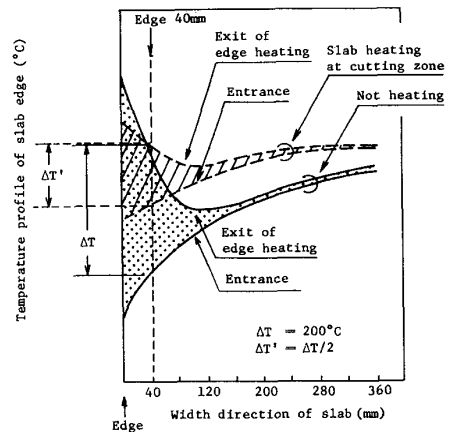


Fig. 6 Effect of slab heating at cutting zone in CC

Table 3 Comparison between induction heater and gas heater

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

水準を Table 5 に、内部割れ発生結果を Fig.8 に示す。CPC の効果は明確であるが、L/F については、CPC-ON 時には効果を示さない。

次に、CPC のかからない非定常部 (B 片近傍) に対して L/F を適用した。Fig.9 にエッジ割れに対する影響を示すが、発生個数、程度ともに軽減しており、L/F 効果は明確である。

(3) CPC と L/F 複合効果の考え方

L/F および CPC の効果は中立軸を L 面側に移動させることによって得られている。CPC は鑄片温度が高く、断面剛性が小さい程有効であり、L/F は L 面温度が小さい程有効である。L/F と CPC の複合効果を中立軸移動で表すと Fig.10 となる。CPC-OFF 時には L/F 効果が認められるが、CPC 力を増してゆくと徐々に L/F 効果が小さくなり、

中立軸移動量 100mm 以上では L/F 効果がなくなる。この結果、L/F の適用は B 片近傍非定常部において有効である。

4. 新日鐵における連鑄-熱間圧延直結化状況

当社は堺の CC-DR に代表される様に、連鑄-熱間圧延の直結化を推進しており、近年、飛躍的に直送圧延率が向上している。Fig.11 に直結化率と加熱炉燃料原単位の関係を示す。

5. 結 言

以上の高温鑄片製造技術に関する検討は次のように要約される。

- ① 高生産を期待しつつ CC-DR を行う場合は、鑄片搬送時間が重要な要因となり、10~30分程度を要する場合には鑄片厚み 250mm 近傍が有利である。
- ② 保温台車を使用すれば遠隔地 DR も可能である。
- ③ 熱的見地から連鑄機と熱延入口間で鑄片を前後反転するのが有利である。
- ④ AlN 析出防止という点から機内保温に加えて、積極的な加熱も有効と考えられる。
- ⑤ 切断機周辺での端部加熱もトータルエネルギーの節減という見地から有力な手段である。
- ⑥ 熱延前の端部加熱技術については、端部加熱の必要な鑄片比率が高い (ex.80% 以上) 時、ガス加熱方式が有利であるが、将来の技術進歩により、この割合が大幅に減少すれば簡単に ON-OFF 可能な誘導加熱方式が有利である。
- ⑦ 中立軸移動の観点から CPC と L/F を比較検討した結果 CPC が十分可能な部位においては L/F は効果がないが、CPC がかからない B, T 片については L/F は有効である。
- ⑧ 今後、連鑄と圧延側のお互いの技術進歩により CC-DR 技術は、熱延材は勿論のこと、厚板・条鋼材の分野にも波及していくものと思われる。

引用文献

- 1) H. Iso, S. Narita, M. Honda and K. Isogami: 5th International Iron and Steel Congress Abstracts, (1986), P213
- 2) 吉田, 厚見, 大橋, 加賀谷, 椿原, 曾我, 川島: 鉄と鋼, 70 (1984), P1123
- 3) J. Kokado, N. Hatta and H. Takuda: Memoirs of Faculty of Engineering, Kyoto Univ. 投稿中
- 4) 内田, 舟之川, 和田, 小澤, 柳田, 沖本: 鉄と鋼, 72 (1986), S266

Table 4 Casting condition for CPC test

Slab width	Casting speed	CPC		Steel grade
		Small	Large	
1200 mm	1.6m/min	32ton	68ton	medium carbon steel (Al-Si-Killed)

Table 5 Casting condition for both CPC and L/F test

No.	Casting speed	CPC	L/F	Slab surface temperature		Effect for reducing surface strain	
				L-side	F-side	CPC	L/F
1	1.6 m/min	off	1/1	820°C	820°C	1.5%	0.2%
2		1.2 / 0.8	750	900			
3		on	1/1	820	820	0	
4		(65)	1/1	820	820		

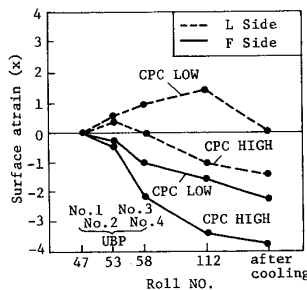


Fig. 7 CPC effect on slab surface quality

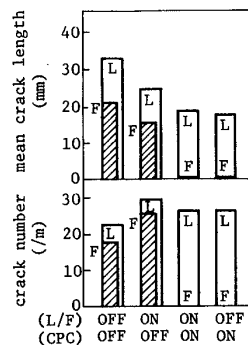


Fig. 8 Effect of CPC and L/F on internal crack

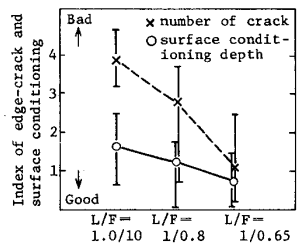


Fig. 9 Effect of L/F on bottom of a strand

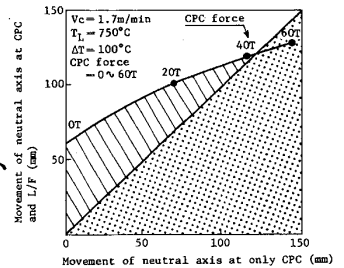


Fig. 10 Effect of both CPC and L/F

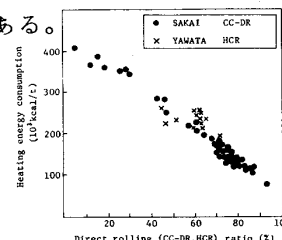


Fig. 11 Relation between direct-rolling ratio and heating energy consumption

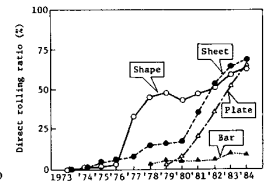


Fig. 12 Changes in direct rolling ratios in NIPPO Steel Corp.