

技術報告

UDC 621.746.047 : 669.14-147-412

回転連続铸造機の設備と操業

楯 昌久*・橘 克彦*・栗林 章雄*

The Equipment and Operation of Rotative Continuous Casting

Masahisa TATE, Katsuhiko TACHIBANA, and Akio KURIBAYASHI

Synopsis :

Rotative continuous caster, which was only one in service in Japan, was operated at Keihin Works of Nippon Kokan K. K. from March 1974 to December 1977. In total, 1.5 million tons of billets have been cast in the four years operation. During this period, various modifications of equipments and improvement of billet quality were carried out and contributed to the high productivity, over 40 000 tons/month.

Advantages of RCC process over the conventional ingotmaking-billeting process are;

- (1) Conditioning of billet is eliminated.
- (2) Total yield through all the processes of pipemaking increases by approximately 17%.
- (3) Energy saving of 3×10^5 kcal/ton is achieved.
- (4) Total processing time required is shortened by 80%.

1. 緒 言

回転連続铸造法はモールド内溶鋼に遠心力をあたえて均一な凝固シェルを形成させ、表面性状が平滑で良好な铸件を製造するプロセスである。日本钢管(株)京浜製鉄所では本プロセス継目無鋼管用丸ビレットの連続铸造化を目的に採用し、1974年3月から1978年12月までの約5年間で累計約150万tにおよぶ丸ビレットを铸造した。この回転連続铸造機は、フランス SCEC 社から技術導入したもので、世界初の工業規模铸造機であり、既存設備を一挙に4倍以上にスケールアップしたため、稼働当初は種々の設備故障あるいは操業上のトラブルに遭遇したが、多連々铸操業を含む高能率化をはかり、4,000t/月を超える製造体制を確立した。以下にその経緯について述べる。

2. 設 備

Fig. 1 に回転連続铸造機本体の縦断面を、Table 1 に設備諸元を示す。本設備は次のような特徴を有する。

- (1) レードルクレーン走行振動の連続铸造機への伝播を防ぐため、建屋基礎と機械架台を独立させた。
- (2) 連々铸操業時のレードル交換を迅速におこなうためにスウィングタワーを採用した。

(3) モールドへの溶鋼注入は回転の接線方向におこなうが、その方法として Fig. 2 に示すようなサボ方式とベントチューブ方式がある。われわれは次の理由からサボ方式を採用した。

- (a) ノズル溶損時にサボを速やかに交換できるため、連々铸操業が容易である。
- (b) 各ストランドのモールドに対してそれぞれ最適位置に注入流を調整できる。
- (c) あらゆるサイズの混合铸造に対して2迅速に対応できる。
- (4) 2次冷却装置ではビレットサイズ変更にもなうスプレーマニフォールド位置の調整をはぶくため、フラットタイプのスプレーノズルを採用した。
- (5) ピンチロールは 120~240 mmφ の全サイズ铸件に対してロール交換や皿バネ押付力の調整が必要のない構造とした。
- (6) ビレット切断方式は回転体の切断性を考慮し、ホットソー方式とした。

3. 操 業

1974年3月稼働後、1978年12月末の停止に至るまで生産量の推移は Fig. 3 に示すとおりで、稼働7ヶ月目には当初予定の 20 000 t/月 を達成し、1978年には

昭和 55 年 11 月 10 日受付 (Received Nov. 10, 1980)

* 日本钢管(株)京浜製鉄所 (Keihin Works, Nippon Kokan K.K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

Table 1. Rotative continuous caster.

Item	Particulars
Steelmaking furnace	LD converter (80T/heat) Electric arc furnace (40T/heat)
Number of strands	4 (distance; 2.2m-2.4m-2.2m)
Billet size	120mmφ~240mmφ
Caster height	Overall caster height; 34.8m Caster floor level ;GL+25.7m
Ladle	80T/heat
Tundish	Capacity; 12T Flow Control; stopper
Sabot	Capacity; 40kg
Mold	Total length; 455mm Rotating speed; max 120rpm Oscillation; max 140cpm × max 26mm
Secondary cooling	Zone Length; 8m Intensity; max 75T/Hr/Strand
Guide roll	3 rolls/unit × 3 units
Pinch roll	Type; Counterarranged V shaped roll Number; 3 units Withdrawing speed; max. 3.5/min Rotating speed; max 120rpm
Hot saw	Blade diameter; 1100mmφ
Metallurgical length	16.5m
Tilter	Actuated by hydraulic cylinder
Carriage	Driven by hydraulic motor

40 000 t/月の生産ペースを達成するにいたつた。鋳造鋼種は API J 級から P 級までの油井管が 80% を占め、一部クロムモリブデン鋼やボイラー用鋼も鋳造した。

前述のように、操業開始直後の設備は、主として回転機構の複雑さに起因する故障が頻発し、他の連続鋳造設備にくらべて修理に要する時間は比較的長かつた。そのため装置を極力単純化することを目指し、数々の設備変更をおこなつた。

(1) モールド回転機構

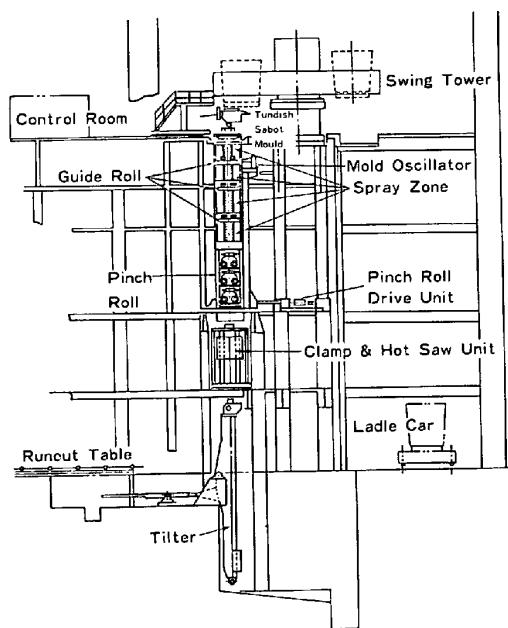


Fig. 1. Side view of rotative continuous caster.

回転連続鋳造法ではビレット表面を良好ならしめるため、モールド、ピンチロール等、各装置に組み込まれたモーターおよび減速機は厳密に同期させる必要があり、装置としては非常に複雑なものとなつていた。特にモールド駆動装置は溶鋼飛散の影響を受けやすいこともあり、保守点検時間を延長させる原因となつていた。そこでモールドの回転力を、ビレットとモールドの摩擦を利用してビレットの駆動力から得ることにした。ここでモールドの回転率、すなわちモールド回転数とピンチロール回転数の比には Fig. 4 のような関係があり、モールドターバーがある値を超えるとモールド回転数はピンチロール回転数にかなり近づく。この関係を利用してモールド駆動装置を撤去した。

(2) ガイドロール、ピンチロール配置

Fig. 5 に示すようにモールド芯とガイドロール芯にずれがある場合、鋳片にかかる応力はガイドロール間隔に反比例する。そこで当初 3 段あつたガイドロールを 2 段にし、ガイドロール間隔を 1 700 mm から 3 700 mm に変更した。ピンチロールについても、皿パネの強化あるいはロールカリバー形状を改善して 3 段から 2 段ピンチロールに単純化することができた。これらの改造によつて、ブレイクアウト発生率が減少し、設備故障率もストランドあたり 1% 以下で安定推移している。

4. 高能率操業

後述するような回転連続鋳造機の製造コスト、工程上の利点から生産量を増大させる必要が生じ、鋳造能率を向上させるために、鋳造準備時間の短縮、連々鋳チャージ数の増大をはかつた。

4.1 準備時間の短縮

鋳造準備時間には、トップビレット搬出、ダミーバー準備、サボ、タンディッシュ処理、加熱、場合によつて

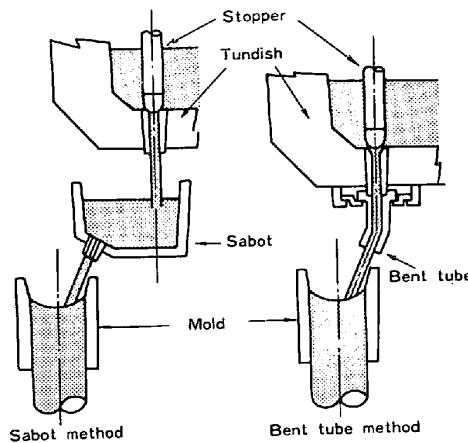


Fig. 2. Comparison of sabot and bent tube method.

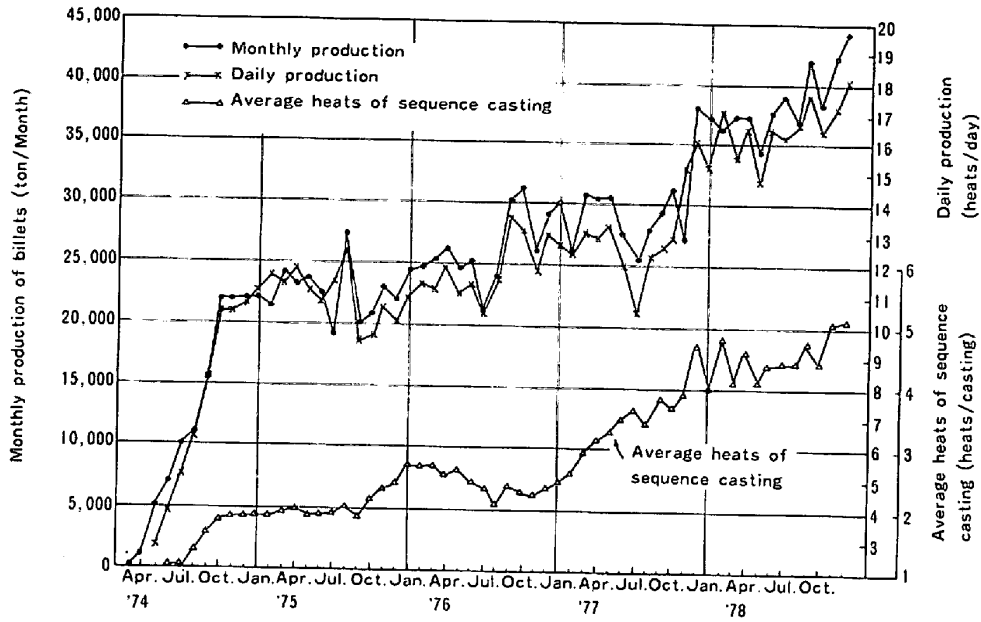


Fig. 3. Trend of production and heats of sequence casting of RCC.

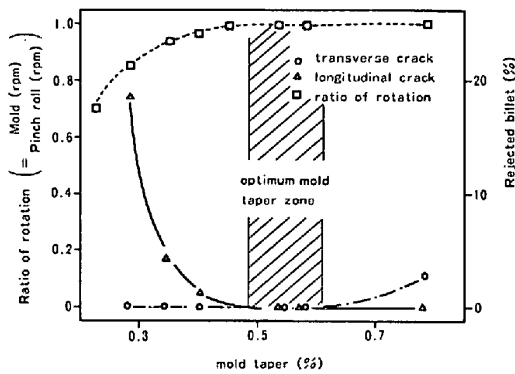


Fig. 4. Determination of optimum mold taper.

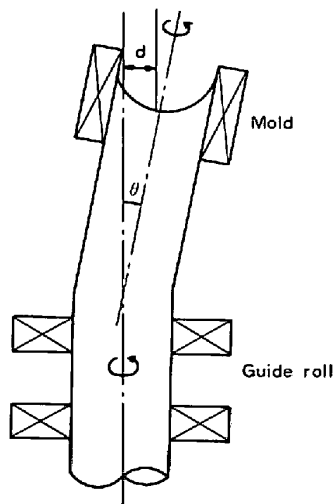


Fig. 5. Schema of tilted mold with machine center.

ホットソーブレード、モールド交換等が含まれ、従来、最短 65 min 必要であり、平均では約 90 min となつていた。そこで、この铸造サイクルを短縮するため、準備

作業を一部並行実施できるよう設備改造した。そのおもなものは次のとおりである。

- (1) 自動ダミーバーセッティング装置設置
 - (2) モールドにタンディッシュをセットした後もダミーバーシールがおこなえるようなダミーバーヘッド治具使用
 - (3) モールドシール後の点検作業およびホットソーブレード交換を可能にするためのシーケンス変更
- これらの改造によつて準備時間は Table 2 に示すよ

Table 2. Comparison of preparation sequence.

	Time Job analysis	Time chart of preparation after casting									
		minutes									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	
Original operation	① Carrying out the last billet	→									
	② Inspection	→									
	③ Charging dummy bar	→									
	④ Exchanging tundish	→									
	⑤ Exchanging mold	→									
	⑥ Exchanging hot saw blade	→									
		Total 65 min.									
Operation after improvement	① Carrying out the last billet	→									
	② Charging dummy bar	→									
	③ Exchanging tundish	→									
	④ Exchanging mold	→									
	⑤ Exchanging hot saw blade	→									
		Total 40 min									

うに最短 40 min に短縮され、かつ点検が十分におこなえるようになった。

4.2 多連々鑄化

多連々鑄化の障害となるのは耐火物、特にタンディッシュのストッパーヘッドとノズルの溶損である。それぞれについて、ジルコン、ハイアルミナ、コランダム、アルミナグラファイト質で試験をおこなったが、ノズル、ストッパーヘッドともに低気孔率のジルコン質を用いた場合にもつともよい結果が得られた。その結果、低炭素高マンガン鋼で6チャージ連々鑄、高炭素高マンガン鋼では10チャージ連々鑄（鑄造時間700分）を定常化した。耐火物以外に多連々鑄化をはばむ要因としてアルミナによるタンディッシュノズル詰りがある。Al添加量を増せば非金属介在物はマンガンシリケートからアルミナ系に変化し、溶鋼中酸素は低減するが、ノズル詰りは多発しやすくなる。そこでAlワイヤーフィーダーを使用してAl歩留りの安定化をはかり、介在物形態が、アルミナ域とマンガンシリケート域の境界に位置するよう制御し、操業を安定化させた。

5. 鑄片性状

5.1 表面性状

回転連続鑄造法の最大の特徴は表面性状が良好なことであり、ピンホール、ノロかみ等の欠陥がきわめて少なく、オキシレーションマークも目視では判別不可能な程度までである。鑄片の真円度はピンチロールマーク以外の位置では直径のばらつきで±0.5mm以下である。鑄造条件が不適切な場合には、前述のような縦割れ、横割れのほかにたれ込み疵が生ずる。たれ込み疵はうろこ状の疵で回転連続鑄造特有のものであり、モールド芯とガイドロール芯の不一致によつてシェルをめスカス部の1部に変形が生じ、それによつてできるモールド、シェル間のギャップに溶鋼がたれ込んで生ずる。操業経験によれば、たれ込み疵はモールドとガイドロールの回転芯の傾きが1.5/1000を超えると急激に発生しやすくなる。また、疵直下に割れをともなうことが多く、モールドの芯ずれによる繰り返し応力と重なつてブレイクアウトの原因にもなる。Table 3 に鑄片表面欠陥と発生原因、対策をまとめた。

5.2 凝固組織

回転連続鑄造鑄片の凝固組織はマクロ的にはチル晶帯、柱状晶帯、等軸晶帯から成つているが、等軸晶の占める割合が比較的大きい。柱状晶の成長方向はPhoto. 1からわかるように、ビレットの中心を通る法線に対して傾斜し、しかも回転方向に対して逆向しているのが特徴

である。等軸晶帯が比較的大きい理由としては、注入流の水平速度が回転周速より大きくとつてあるため、注入流によつて衝撃を受けた凝固シェルの柱状晶が遊離することが考えられる。センターポロシティは等軸晶が多いので、連続したパイプ状とならずに分断され、比較的軽微である。特に鑄造温度が低目の場合、V状の湯流れが顕著になり、センターポロシティは分散される。

回転連続鑄造の内部欠陥としてはPhoto. 2(a)にみられるような鑄片中心部から放射状に発達する星状割れがある。角ビレットにみられるこの種の割れについては凝固完了直後における温度降下速度にともなう熱応力で発生すると考えられている。そこで鑄片中心部の凝固完了時における温度降下速度を1次元非定常熱伝達方程式の数値解から求め、鋼種および2次冷却パターンの影響を明らかにした。なお、伝熱モデルの妥当性は鑄型内へ

Table 3. Surface defects of RCC billet.

Defect	Cause	preventing actions
Longitudinal crack	① miss machine alignment of vertical direction (mold to guide roll) ② mold taper	① correction of miss machine alignment ② setting up optimum mold taper
Transverse crack	① mold taper ② a scratch in inner surface of mold	setting up optimum mold taper
False wall	miss machine alignment of vertical direction (mold to guide roll)	correction of miss machine alignment

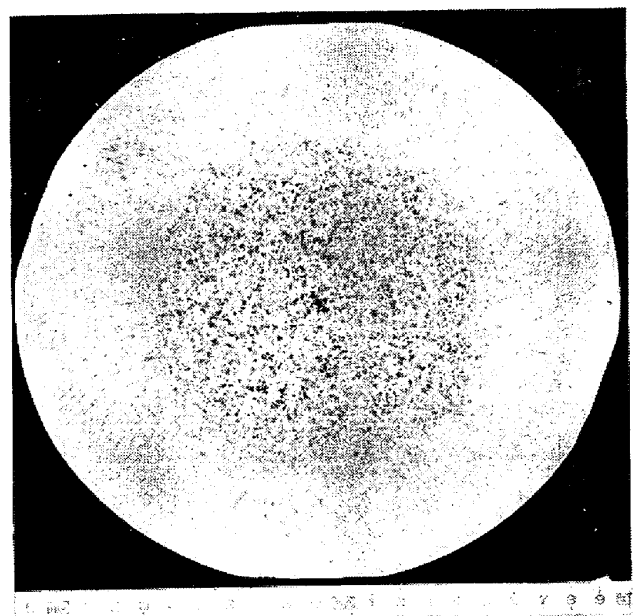
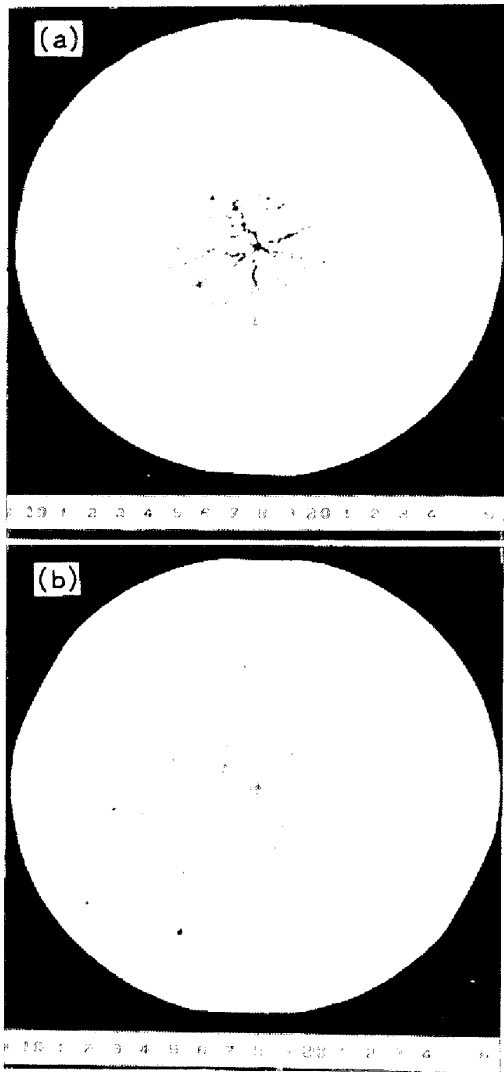


Photo. 1. Macro structure of RCC billet.



(a) Level I; high specific consumption of water
 (b) Level V; low specific consumption of water

Photo. 2. (a), (b) Influence of secondary cooling on star crack of RCC billet.

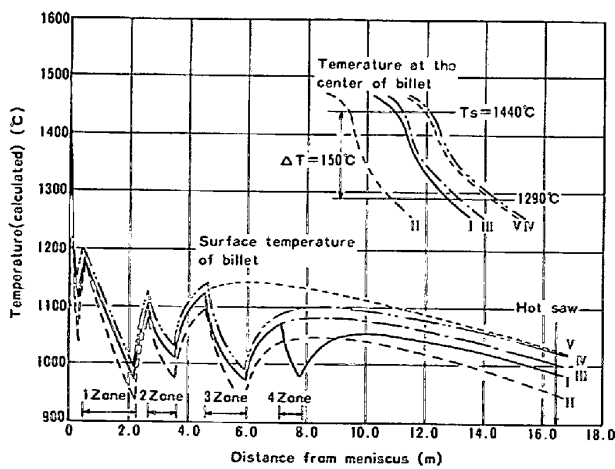


Fig. 6. Variation in surface and central temperature of billet depending on the secondary cooling intensity of level I to V (Low carbon steel size 170 ϕ).

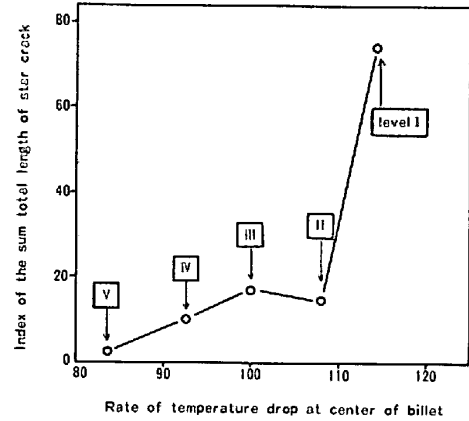


Fig. 7. Relation between rate of temperature drop at the center of billet and the sum total length of star cracks.

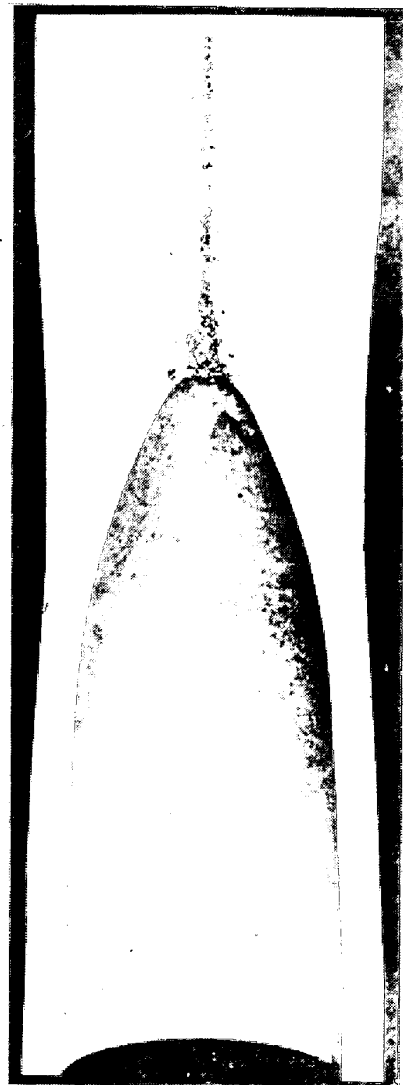


Photo. 3. Cavitation ahead of plug along the center porosity of RCC billet at piercing.

の硫化鉄添加試験および溶鋼排出法によつて確認した。低炭素鋼における表面温度の経緯と鑄片中心における温度変化を Fig. 6 に示す。この解析結果をもとに2次冷

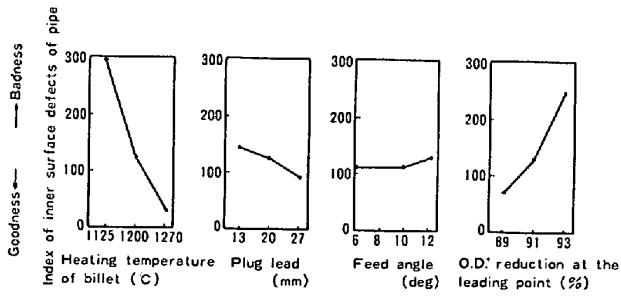


Fig. 9. Relation between piercing condition and index of inner surface defects of pipe. (1/3 piercer mill model, O.D.*; outer diameter of pipe)

して穿孔され、いわゆる先進割れが発生する。この先進割れ部表面はスポンジ状であるが、穿孔プラグによって鍛着され、良好な内面性状となる。したがって、プラグによる鍛着効果をいかに高めるかが製管圧延上のポイントとなる。Fig. 9 に実験圧延機で得られた圧延条件と内面性状の関係を示すが、プラグ先進量が多いほど圧延結果は良好である。この結果をもとに実機における圧延条件を設定し、分塊圧延材と同等の内面性状が得られている。

7. 総 括

ビレット製造法としての回転連続铸造法はこれまで述べてきた品質上の特徴のほか、従来プロセスに比較し

て次のような利点を有する (Table. 4)。

(1) 製造工程に関しては造塊-ビレット圧延法に対してはもちろん、ブルーム連続铸造-ビレット圧延法に比した場合でも、圧延後疵取り工程が省略でき有利である。

(2) 歩留りは造塊法に比べ約 17% 高くなる。

(3) 工程の省略化によって要員は約 60% 低減し、エネルギー原単位も約 30 万 kcal/t 節減できる。

このような利点がある反面、回転連続铸造機は構造上完全垂直であり、大型精錬炉との組み合わせは建設費、保全費が割高になること、あるいは Al, Ti 等の添加元素の使用制約があることが指摘される。

文 献

- 1) H. Vom ENDE and G. VOGT: JISI, 210 (1972), p. 889
- 2) G. Van DRUNEN and J. K. BRIMACOMBE: Ironmaking and Steelmaking, 2 (1975) 2, p. 125
- 3) H. KRAINER and B. TARMANN: JISI, 196 (1968), p. 105
- 4) 森 久: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 1511
- 5) L. SCHMIDT, H. FREDRIKSSON: Ironmaking and Steelmaking, 2 (1975) 1, p. 61