

## 扇島大断面ブルーム連続鑄造技術の開発

楯 昌久\*・玉置 稔夫\*・山上 諄\*・中島 廣久\*  
 笹島 保敏\*

## The Technical Development of a Large Cross-sectional Bloom Caster for Seamless Tubular Products

Masahisa TATE, Toshio TAMAKI, Atsushi YAMAGAMI, Hirohisa NAKASHIMA, and Yasutoshi SASAJIMA

### Synopsis :

A four strand vertical bloom caster was started up at Ohgishima in April, 1979. The caster is producing 100 000 metric tons per month of 400 mm×520 mm blooms for seamless tubular products. New technology has been developed as follows :

- (1) Automatic ladle pouring system with NKK rotary nozzle for labor saving and stabilization of cast products quality.
- (2) Automatic mold level control system with NKK eddy-current mold level meter.
- (3) Optimum rolling schedule of cast products.
- (4) Improvement of the continuous-continuous casting operation technology.
- (5) Improvement of qualities for cast products and rolling products.

The caster began charging unscarfed hot blooms into the rolling and billeting mill in July, 1979 for all of cast products.

## 1. 緒 言

日本鋼管(株)京浜製鉄所は、シームレス鋼管用素材として、厚み 400 mm×幅 520 mm の超大型ブルームが製造可能な垂直型ブルーム連続鑄造設備(以下 BLCC と記す)を扇島Ⅱ期工事で新設した。厚さ 400 mm に達する大断面ブルーム鑄片を連鑄法にて製造した実績は少なく、超厚肉大断面鑄片という点で高度な連鑄技術が要求される。

このような超大型垂直型 BLCC を設置、稼働させたねらいは次のようにまとめることができる。

(1) 連鑄機で製造される鑄片は京浜製鉄所においてはピレット径 120 mm φ から 310 mm φ までの 9 種類の丸鋼片の製造が可能である寸法でなければならない。また、所定時間内で 250 t の溶鋼を処理することが可能で転炉容量 (250 t)、取鍋内溶鋼保持時間等を考慮し、連鑄機の生産能力を支配する最大要因は断面形状であり、大断面ブルームの採用が生産能力およびシームレス製品サイズからの制約条件の両者を満たすことができる。

(2) シームレス用素材として必要なブルーム鑄片品質は、割れ、介在物が少ないことおよび中心部組織が緻

密で偏析が少ないことが要求される。割れについては表面、内部割れ共に彎曲鑄片を矯正する際の歪み量、歪み速度等に制限があること、介在物浮上除去に関しては垂直型が望ましく、中心部多孔質組織の改善、偏析低減のためには重力の効果を最大限に利用することが必要で垂直連鑄機の採用を考えた。

(3) ブルームの加熱炉ホットチャージ、無手入直接圧延等の省エネルギー技術の育成。

(4) 従来法の造塊作業にかわる新技術としての BLCC の導入による環境改善。

(5) 自動制御システムの採用と省力化

このようなねらいを基盤に扇島ブルーム連鑄機は 1979 年 4 月に稼働を開始し、今日までに転炉鋼シームレス素材の全鋼種に対して、品質確性を実施し、そのすべてを連鑄化することが可能となつた。

## 2. 設備決定における基本理念

日本鋼管京浜製鉄所におけるシームレス鋼管用連続鑄造機の仕様を決定するに当たり、最も配慮した点は鑄片サイズおよびマシンタイプの決定である。

昭和 55 年 11 月 21 日受付 (Received Nov. 21, 1980)

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

2.1 鑄片サイズの決定

2.1.1 必要短辺寸法の決定

鑄片の短辺寸法は製造するビレットの径および必要圧下比により決定しなければならない。当所のシームレス鋼管のサイズより、必要とされるビレットサイズはそのサイズ構成量を勘案し 310 mm φ (パイプ外径 13<sup>3</sup>/<sub>8</sub> in 相当) を最大丸ビレット径とした。またプラスチックを使用した圧延シミュレーション実験、実機によるテスト圧延により圧延パススケジュールの決定を行い、仕上熱間寸法、ミルスケール除去に必要な圧下量等の圧延過程における各種圧下量および寸法を求め 400 mm と決定した。

2.1.2 必要長辺寸法の決定

長辺寸法を決定する重要な要因は鑄片の偏平比であり、この偏平比は生産性および鑄片の内質に大きく影響する重要な因子である。

一般に偏平比を大きくすることにより生産性は向上するため、可能な限り大きくすることが望ましい。

一方製管成績におよぼす偏平比の影響を調査した結果、偏平比が 1.3 以上において、センターポロシティや、中心偏析が Fig. 1 に示すように鑄片およびビレットに残留し、製管過程における管内面不良率を著しく増大させることが明らかとなった。

従つて、製管過程における内面不良率を増加させることなく、かつ生産性の低下をきたすことのない最大偏平比である 1.3 を採用し、長辺寸法を 520 mm と決定した。

2.2 マシンタイプの決定

シームレス鋼管素材を製造するために、マシンタイプの選定に当たり以下の項目を検討する必要がある。

1) シームレス鋼管素材の品種は多く、特に成分に関しては [C]=0.10~0.50% と低炭素鋼から高炭素鋼まで広範囲をカバーしている。従つて鑄片の内部割れ、表面

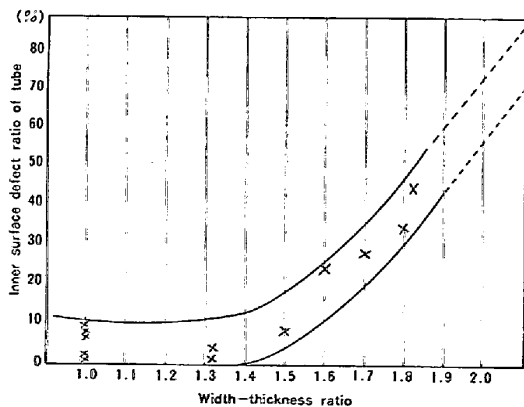
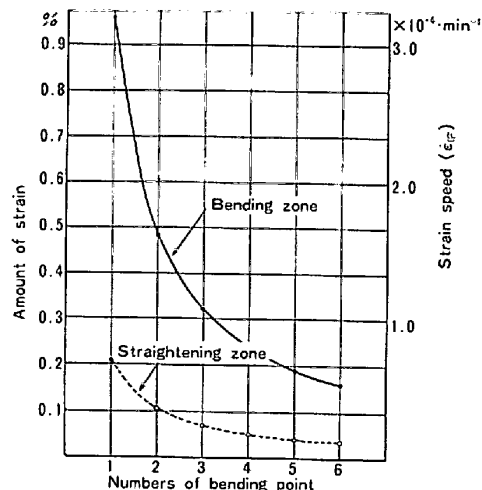
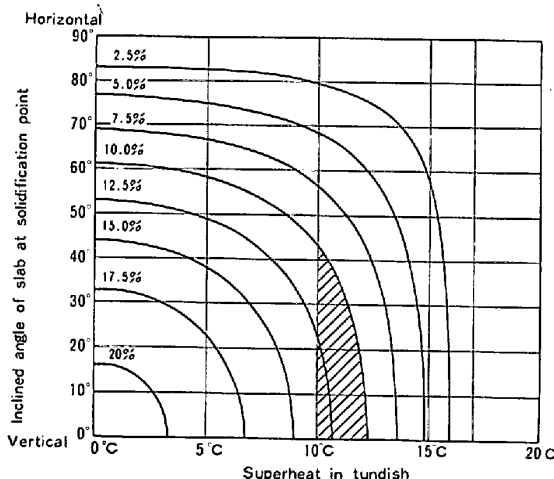


Fig. 1. Relation between width-thickness ratio and inner surface defect ratio of tube.



- ① Thickness : 400mm
- ② Amount of strain :  $\epsilon_{IP} = \frac{d-2s}{2} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$
- ③ Distance of roll : 300mm ④ Casting speed : 0.6m/mm
- ⑤ Radius : 12m ⑥ Thickness of shell
- a) Bending zone : 85mm b) Straightening zone : 175mm

Fig. 2. Relation between number of bending points and amount of strain.



Thickness of Slab : 250mm Model equation  
 $du/Do = \{0.5 - (\alpha + \gamma \Delta T^2)\} \cos \theta$   
 du : Thickness of equi-axed crystal zone at upper Side  
 Do : Thickness of slab  
 $\Delta T$  : Superheat of molten steel  
 $\theta$  : Inclined angle  $Do^2 V / 4k l^2 R$

Fig. 3. Relation between inclined angle at solidification point, superheat in tundish and ratio of equi-axed crystal zone.

割れ防止のため、鑄片歪み量と、歪み速度は極力小さくすることが必要である。Fig. 2 に矯正点数と歪み量の関係を示す。

2) シームレス鋼管製造過程において鑄片軸心部が管内表面となるため鑄片中心部におけるポロシティと、中心偏析を極力防止する必要があり、等軸晶率の高い組織が必要である。鑄片凝固位置における傾斜角度、タンディッシュ内容鋼過熱度と等軸晶率の関係をモデル実験

において求めた。その結果を Fig. 3 に示す。等軸晶率を 10% 以上確保し、操業の安定性を十分保ち得る最低溶鋼過熱度を 10°C 以上と考えると、Fig. 3 における斜線部に示すように凝固位置傾斜角度は垂直からの傾斜角 40° 以下が必要となる。

3) シームレス鋼管における機械構造用、ボイラチューブ用パイプ等においては介在物の少ない製品が要求される。このため、鑄片における介在物は可能な限り少なくする必要があり、垂直部をもつことが望ましい。

以上の3点について、これらの条件を満足し、安定した操業で品質保証を可能にするマシンタイプとしては、重力を有効利用した完全垂直型が最もすぐれていると判断した。

### 3. 垂直型連铸機設備概要

BLCC の主な仕様を、Table 1 に、側面レイアウトを Fig. 4 に示す。

前述のごとく鑄片品質も考慮して、完全垂直型とした結果、地上 12.6m、地下 36.8m の垂直部高さ 49.4m

Table 1. Specification of bloom continuous caster.

Item	Contents
Type	4 Strands(vertical)
Bloom size	400×520mm
Casting products	Seamless pipe Steel bars and shapes
Casting velocity	0.5m/min(max0.8m/min)
Metallurgical length	29.65(m)
Interval of strand	2.3-3.2-2.3(m)
Dummy bar method	Lower insert method
Level	+12.6(m)from floor level
Under pit	-36.8(m)from floor level
Spray zones	5 zones
Sections	8 Sections (1st section...face guide type) (4th, 7th section...driving roll)
Pinch rolls	3 pinch rolls
Cutter	Flame cutter (1st cutter...in pit) (2nd cutter...on floor)

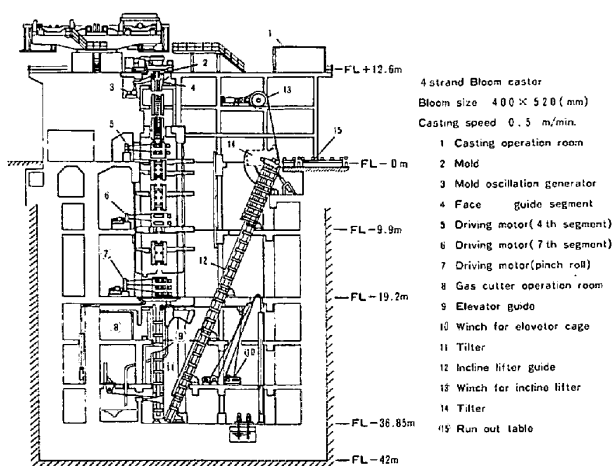


Fig. 4. No. 4 BLCC (Side View) (NKK Keihin Works)

の、垂直マシンとなつた。

### 4. 操業技術改善

BLCC は 1979 年 4 月よりシームレス素材専用機として稼働を開始し、これまで操業上の技術改善を行い、100 000 t/月の生産量をあげるに至つた。以下にその技術改善について述べる。

#### 4.1 レードル～タンディッシュ自動鑄込

レードル～タンディッシュ自動鑄込の必要性は以下に示す通りである。すなわち

1) 多連鑄時、取鍋注入オペレーターが、鑄込み作業に長時間拘束されることなく、職務範囲の拡大が可能となり要員省力がはかれる。

2) タンディッシュ内の溶鋼温度を出来る限り一定範囲内に収めるためには、溶鋼量を所定の範囲内に保つ必要がある。

3) モールド内のレベル・コントロールを安定化させるためにはタンディッシュ内の溶鋼レベルすなわち溶鋼量を出るだけ一定範囲内に保つ必要がある。

本装置は BLCC 稼働開始より実用化され自動注入が可能となつた。

レードル～タンディッシュ自動鑄込みシステム構成を、Fig. 5 に示す。

#### 4.2 モールドレベル制御

連続鑄造プロセスにおいてモールド内溶鋼の湯面レベルを精度よく計測し、一定レベルに制御することは鑄片品質の向上、省力化、操業安定化の面で極めて重要な技術であり、BLCC 稼働開始時より本格的な操業を行つた。

Fig. 6 に渦流式湯面センサーの構成を示す。

渦流式湯面センサーで湯面レベル制御を行つた例を、Fig. 7 に示す。そのすぐれた応答性を発揮して、制御性は極めて良好であり、RI 法で見られるようなモールドパウダーの影響は受けずに実湯面を検出して制御するため、湯面レベルの制御範囲が 1/2 に短縮されることが判

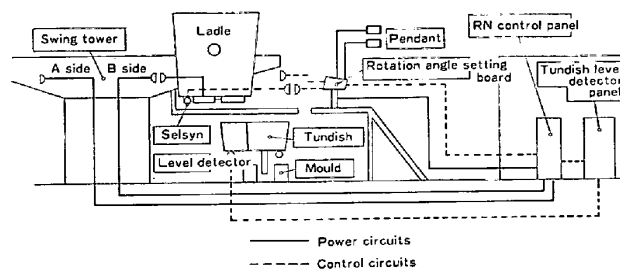


Fig. 5. Automatic teeming system with rotary nozzle.

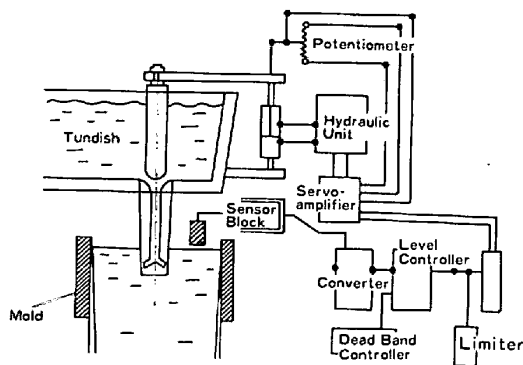


Fig. 6. Mold level control system.

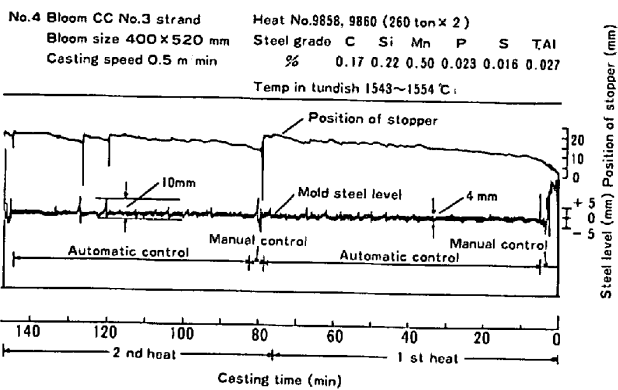


Fig. 7. Mold level control with eddy-current level meter.

明した。

### 4.3 多連鑄化

多連鑄化は、準備時間の省略により、実鑄造時間を著しく向上させ、連鑄の能率向上に大きく寄与するほか、省力化、歩留り向上などあらゆる面で著しい効果を有している。BLCC 操業においてもコストメリットの大きい1タンディッシュ多連鑄化操業を立上り時期より指向し各種の耐火物関連の改善を行い、5 CCC/Tundish, 450 min/Tundish の操業が安定して可能となつた。以下その改善内容を示す。

#### 4.3.1 タンディッシュ耐火物の改善

長時間におよぶ1タンディッシュ多連鑄操業において最も重要なポイントはサブマージドノズルのスラグライン溶損およびタンディッシュストッパーのスラグライン溶損である。

サブマージドノズルについては、スラグラインの一部ジルコン質使用による2層構造化により従来の約3倍の耐溶損性を得ることが出来た。またノズル長さを操業初期のものより、拡大をはかつた。ノズル吐出口径についても40mmφから45mmφに拡大し溶鋼の吐出部およびスロート部におけるノズル詰り防止を行つた。

#### 4.3.2 ノズル閉塞防止

多連鑄化をさまたげる要因にサブマージドノズル閉塞がある。ノズル閉塞の主因は鋼中に存在するアルミナのノズル内壁への析出によるものであり、アルミナの発生防止、ノズル内壁へのアルミナ析出防止の2面より技術改善を行つた。

##### (1) 取鍋〜タンディッシュ間シール

取鍋〜タンディッシュ間の溶鋼流を、シール装置により不活性ガス (Ar, N<sub>2</sub>) でシールを行い、酸素濃度 0.5% 以下の雰囲気で行うことにより、アルミナクラスターをシールを行わないものに比較し大幅に低減することができた。また溶鋼流酸化防止によるノズル内部閉塞防止にはタンディッシュ〜モールド間のシールも重要である。このため BLCC タンディッシュノズルは内挿方式を採用し、外気の浸入に対し万全の対策をとつた。

##### (2) タンディッシュ堰の改善

大型タンディッシュにおける堰はタンディッシュ内における溶鋼温度の均一化ばかりでなく、アルミナ浮上分離促進をはかり、ノズル閉塞防止に不可欠である。すなわち従来堰に一段堰を追加した2重堰を採用し、タンディッシュ底部を沿う溶鋼高速流を防ぎ上昇流をつくることによりアルミナ浮上分離促進が可能となり、ノズル閉塞を防止することができた。

## 5. 品質改善

### 5.1 表面品質

BLCC 鑄片より圧延して得られたビレットの表面疵発生推移を Fig. 8 に示す。ビレット表面疵の発生は BLCC 鑄片に存在する表面疵および BLCC 鑄片圧延過程で生ずる加工疵に大別することが出来る。鑄造における対策として

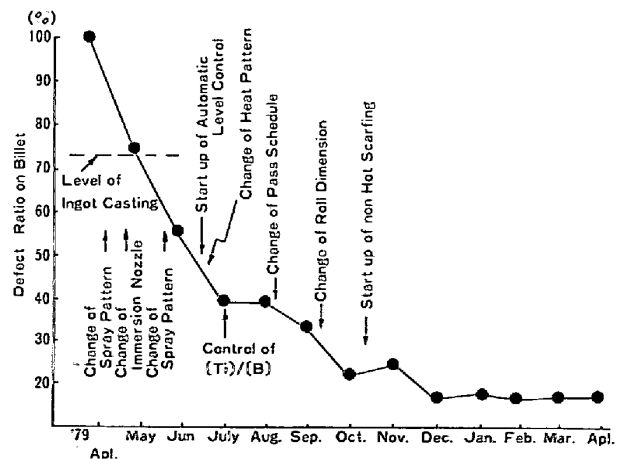


Fig. 8. Improvement of billet surface.

- 1) 低スプレー水量化によるコーナー割れ防止
  - 2) モールド湯面自動制御
  - 3) [B]含有鋼の成分目標値変更による亀甲割れ防止
- 等を採用し、圧延における対策として
- 1) ブルーム加熱炉昇温パターン変更
  - 2) 圧延パススケジュール変更
  - 3) カリバーロール形状変更
- 等を採用し Fig. 8 に示すごとく稼働初期の 1/10 まで疵発生率が低減した。その対策と効果を以下に示す。

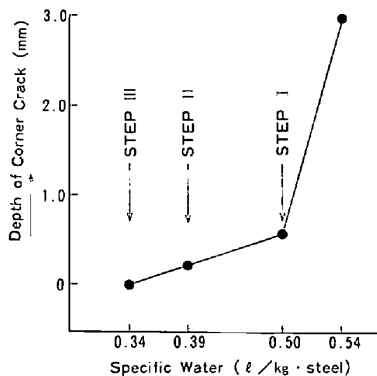
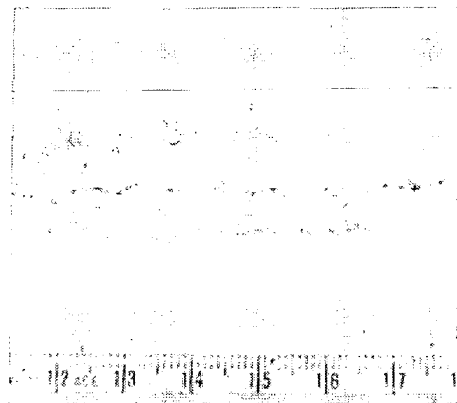


Fig. 9. Relation between depth of corner crack and specific water.

### 5.1.1 鋳片コーナー割れ対策

高炭素鋼 ( $C \geq 0.40\%$ ,  $Mn \geq 0.90\%$ ) において Fig. 9 に示すような鋳片コーナー部に目視観察不可能な毛割れが発生した。この割れは、割れの形態より鋳片冷却過程における熱応力割れと推定された。そのため、鋳片表面温度均一化をはかるためスプレー比水量の低減を実施しコーナー割れの発生を防止した。

### 5.1.2 [B]含有鋼亀甲割れ防止対策

[B]含有鋼において Fig. 10 に示すような亀甲状割れの発生が認められ、化学成分の影響を調査した結果 [Ti]/[B] 比と疵発生指数に明瞭な関係のあることが判明した。このため  $[Ti]/[B] \geq 30$  となるように成分目標値を変更することにより疵発生が防止できた。

## 5.2 鋳片内部品質

### 5.2.1 鋳片凝固組織

完全垂直型マシンの採用により凝固組織は等軸晶帯が広く分布し良好な組織が得られている。Photo. 1 に高炭素鋼における低温鋳造材と高温鋳造材のマクロ組織を示す。また、Fig. 11 にタンディッシュ内容鋼過熱度と等軸晶領域の関係を示す。一般的に言われているごとく垂直型マシンにおいても溶鋼過熱度の低下に伴い等軸晶領域は増加する。特に、 $\Delta T \geq 30^\circ C$  においても等軸晶領域が 100 mm 程度存在する点は大断面 BLCC の大きな特長と言える。

### 5.2.2 中心偏析

BLCC 鋳片軸心部における偏析と溶鋼過熱度の関係を Fig. 12 に示す。溶鋼過熱度の低下に従い偏析が軽減されると同時にセンターポロシティも減少する。また、製品品質におよぼす中心偏析改善効果を Fig. 13 に示す。

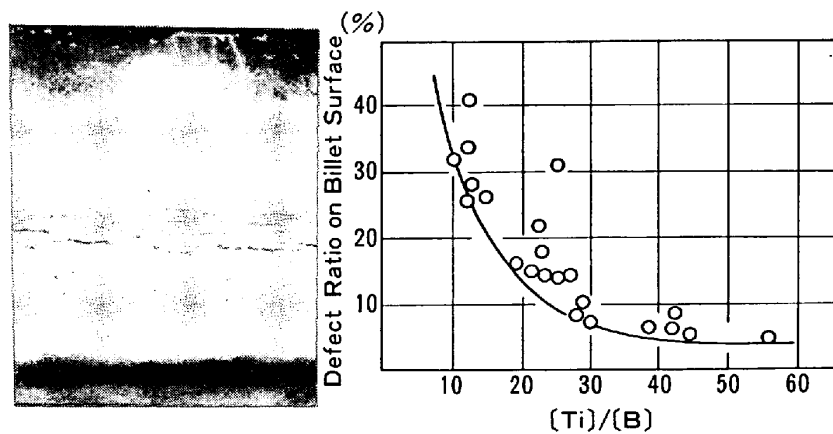


Fig. 10. Relation between [Ti]/[B] and defects on billet surface.

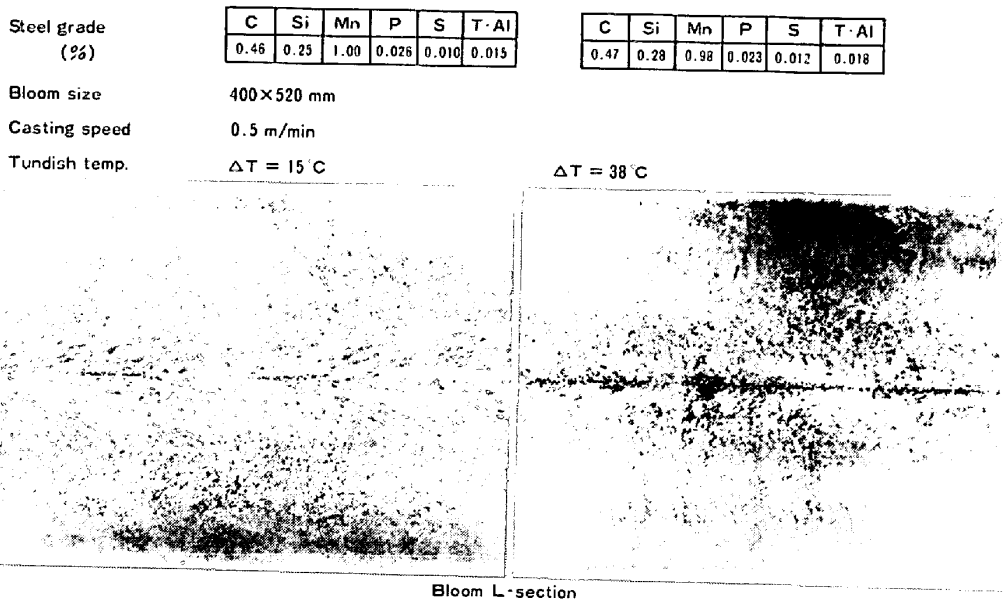


Photo. 1. Super heat and macro structure.

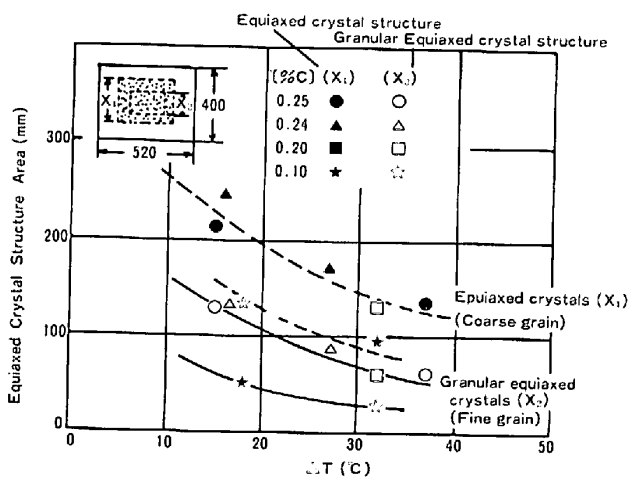


Fig. 11. Relation between superheat and equiaxed crystal structure.

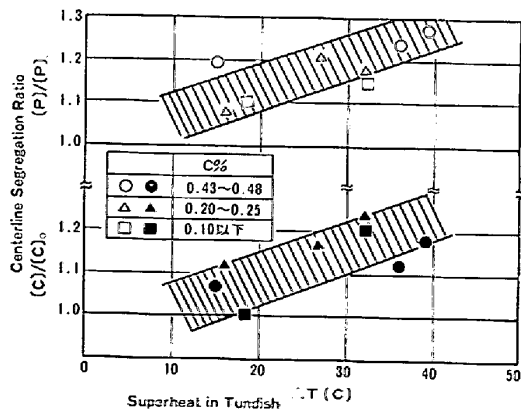


Fig. 12. Relation between superheat in tundish and centerline segregation.

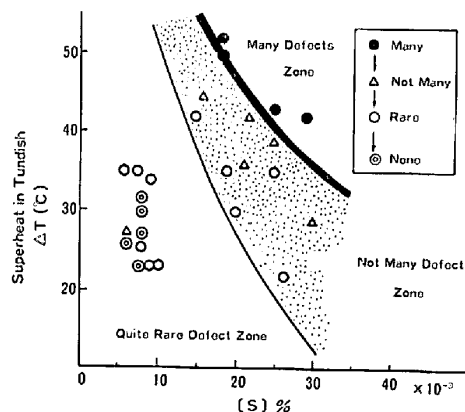


Fig. 13. Effect of superheat in tundish, and sulphur content on inner surface defect ratio of tube.

## 6. 操業概況

稼働開始以降これまで示した種々の技術改善を実施し、Fig. 14 に示すように生産量および平均連々铸回数ともに順調に向上し、1980年8月には10万t/月、平均連々铸回数4.1ch/TDを達成するに到つた。また表面、内質の改善、分塊圧延過程における加熱炉内酸素濃度制御、手入省略、クランプ減少対策等の実施により圧延歩留り(対铸片)で97.0%、精整歩留り(対ビレット)99.8%を達成し、従来の普通造塊~分塊圧延法に比較して一貫歩留りで約15%の向上が図られた。

また連铸適用鋼種についても品質改善経過に従つて順次適用拡大を図り、高級ボイラー材を含む転炉出鋼種々の全てについて連铸化が可能となつた。

また省エネルギーを目的とし計画時より熟片装入を前提

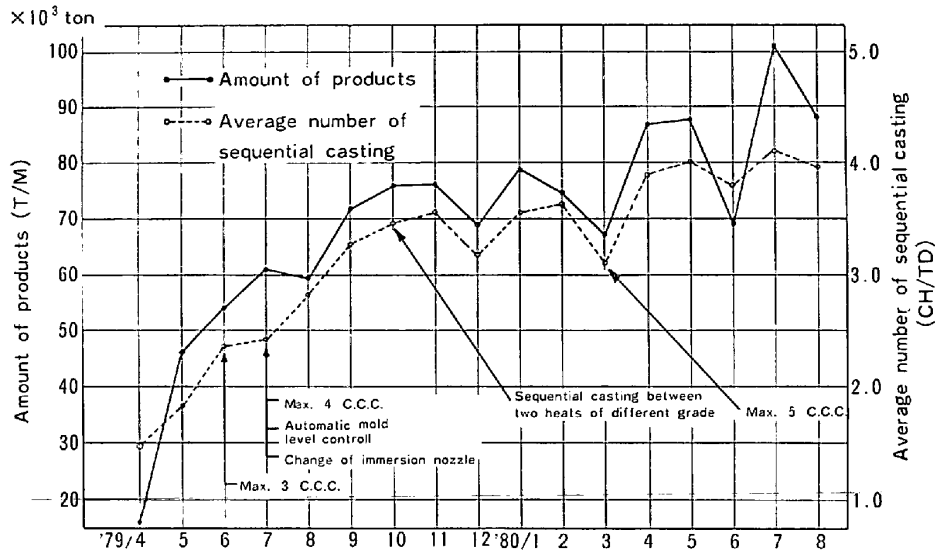


Fig. 14. Amount of products and average number of sequential casting.

とした設備化を行い、ブルーム切断後 20~30 min で加熱炉へ装入することが可能なレイアウトを有しており、鋳片表面温度において 550°C、中心温度において約 800°C の鋳片を装入しており、加熱炉燃料原単位低減に大きく寄与している。

## 7. 結 言

日本鋼管(株)京浜製鉄所はシームレス鋼管用素材として厚み 400 mm × 幅 520 mm の超大型ブルームが製造可能な完全垂直型ブルーム連続铸造設備を設置し 1979 年 4 月より稼働を開始し、レードル~タンディッシュ自動鋳込み、渦流湯面計使用によるモールドレベル制御、耐火物改善、ノズル閉塞防止、異鋼種連々鋳操作を含む多連鋳化技術、また各種の品質改善技術、鋳片装入技術の開発を推進し以下のような成果を得た。

1) 大断面 BLCC の操業は稼働後順調な立上りを行い、1980 年 8 月 10 万 t/月のシームレス鋼管用ブルーム生産量を達成した。また転炉出鋼々種のすべてを連鋳

化した。

2) 表面品質の改善により、全量無手入鋳片装入化を実現し約 15 万 kcal/t の加熱炉燃料原単位の低減をはかった。

3) 表面、内質改善により従来の普通造塊~分塊圧延法に比較し一貫歩留りにおいて約 15% の向上が得られた。

4) レードル~タンディッシュ自動鋳込、渦流湯面計使用によるモールドレベル制御等の自動化技術確立し、作業環境改善、省力化を実現させた。

## 文 献

- 1) 楯 昌久: 日本鉄鋼協会第 69・70 回西山記念講座 (1980), p. 141
- 2) 玉置稔夫, 楯 昌久, 榊井 明, 小森重喜, 山上 諄, 中島廣久: 鉄と鋼, 66(1980), S740
- 3) 玉置稔夫, 楯 昌久, 榊井 明, 小森重喜, 山上 諄, 中島廣久: 鉄と鋼, 66(1980), S741
- 4) 笹島保敏, 楯 昌久, 榊井 明, 玉置稔夫, 矢野 幸三: 鉄と鋼, 66(1980), S742