

## 技術報告

UDC 621.746.27.047

## 円弧型ブルーム連鑄の操業と品質\*

小野修二郎\*\*・成田 進\*\*・伊藤 幸良\*\*

三原紀男\*\*・大佐々哲夫\*\*

## On the Operations of Circular Arc Type Bloom Continuous Casting and Product Qualities

Shujiro ONO, Susumu NARITA, Yukiyo ITO

Kunio MIHARA, and Tetsuo OSASA

## Synopsis:

The No. 2 continuous casting machine of NSC Muroran Works is 4 strands circular arc type, which is made by Hitachi Co. and started its operation in Oct 1971.

This machine is so designed as to cast bloom from 244×300 to 165×165 mm, being supplied the molten steel from 120 tons BOFs.

The bloom is subsequently rolled to bars, wire rods, bar in coils and shapes.

In this paper, the following items are described.

- (1) The systems, adopted in this machine for mold quick changing, computerization and labour saving.
- (2) High productive operation by sizes quick changing method, series casting and high speed casting.
- (3) Effective technics on decrease of non-metallic inclusion (Al-Si killed steel)
- (4) Improvable methods on internal cracks, central segregation and segregation pattern observed on macro-structure.
- (5) Mechanical and fatigue properties, hardinability and sand mark of rolling products.

(Received Dec. 27, 1973)

## 1. 緒 言

室蘭製鉄所には、昭和40年に設置した初の国産技術によるスラブ、ブルーム兼用の第1連続鑄造設備が稼働しているが、同設備で確立した技術をベースとして、昭和46年に同じく国産技術による第2連続鑄造設備を設置し、形鋼、棒鋼、線材、およびバーインコイル向のブルームを生産している。本報では、第2連続鑄造の設備操業、および品質の特徴について述べる。

## 2. 設備および操業改善

2.1 設備概要<sup>1)2)</sup>および特色ある設備

第2連鑄機は各ストランド単独駆動方式で、1タンデッシュ4ストランドの日立式円弧型ブルーム連鑄機であり、その曲率半径は12mである。Fig. 1に設備の概要を示した。溶鋼は120トンLD転炉より受鋼し、1hr以内に鑄造が完了できるように設計されている。設備の

特色としてつぎの2点が挙げられる。

## 2.1.1 短時間組替方式

鑄片サイズが7サイズ(244×300mm~165×165mm)と多く、組替頻度も10~15回/月という前提のため、組替を少人数、短時間で行なうことが本設備では不可欠の条件であつた。そこで鑄型、フットローラー、サポートローラー、振動機フレームをユニットとして一括交換可能な構造とし、取付方法も油圧を利用した位置決め、ロック、配管着脱の各装置を用い、鑄型、サポートローラーの芯合わせ、取付け作業を単純化した<sup>3)</sup>。また、ガイドローラー開度、矯正機加圧力、鑄型冷却水流量、2次冷却のスプレーパターンなどの諸設定も制御用計算機による自動プリセット方式<sup>4)</sup>を採用して組替時間の短縮をはかつた。Fig. 2にほかの操業成績とともに組替時間の推移を示すが、最短で25min/回、月平均で45min/回

\* 昭和48年12月27日受付

\*\* 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所

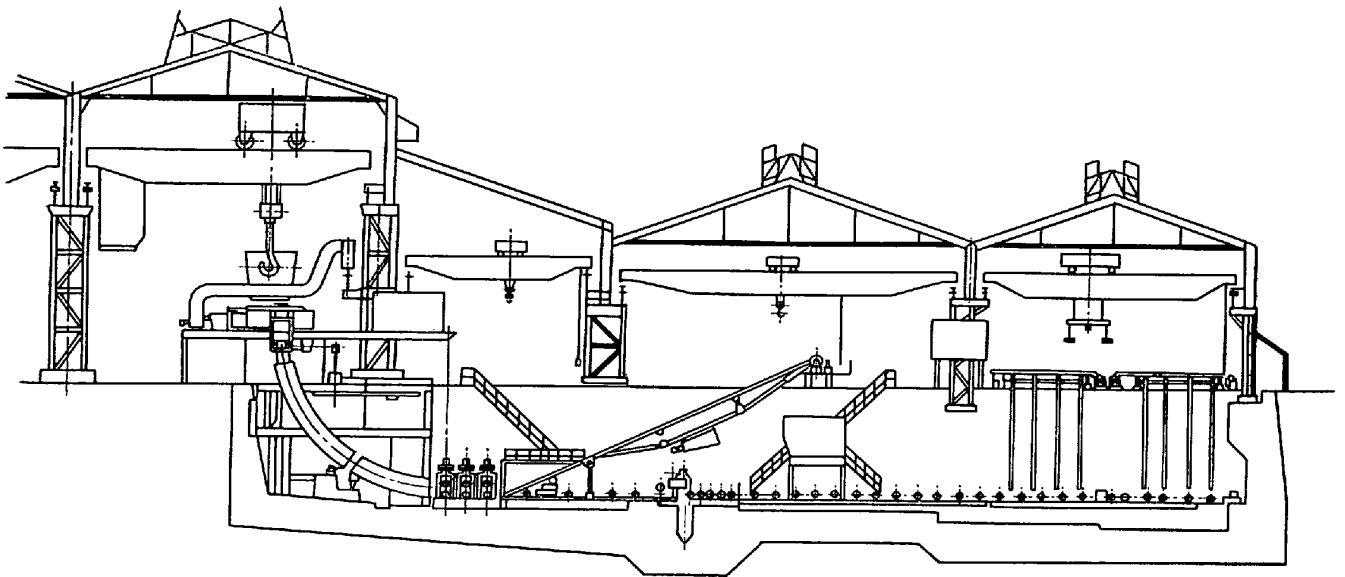


Fig. 1. Muroran-No 2 continuous casting machine (schematic).

という記録がある。

### 2.1.2 自動化および省力化

従来のマイナーループによる自動化のほかに制御用計算機を導入することにより自動化の内容をさらに充実させ、省力化、高能率化をはかっている。その内容として前記した自動プリセット以外にタンディッシュ湯面制御、モールド湯面制御、スプレー水流量制御、スプレー水段階開閉制御、鑄片切断および搬出、ダミーバー装入およびダミーバーヘッド分割などの自動運転制御、さらに情報管理の機械化がある<sup>4)</sup>。

### 2.2 生産量および主要作業成績

昭和 46 年 10 月 21 日の初鑄込み以来、種々の操業技術を体得しながら着実に生産量を増し、順調な操業をつづけている。Fig. 2 に昭和 47 年 1 月より昭和 48 年 8 月までの生産量、連々鑄率 (連々鑄ヒート数/全ヒート数)、平均連々鑄ヒート数 (全ヒート数/ダミーバー装入回数)、注入時間率 (注入時間/暦時間)、生産性 (生産量/注入時間) および前述した組替時間の推移を示す。Fig. 2 から明らかなように高能率、高生産の原動力は連々鑄の拡大と組替時間の短縮による注入時間率の向上、および引抜速度の高速化による生産性の向上である。

### 2.3 操業改善

#### 2.3.1 多連々鑄技術

連々鑄技術としては、タンディッシュ内で同一鋼種を混合する通常の連々鑄およびタンディッシュを交換する連々鑄 (鑄片ダミーバー) が一般に知られている。しかしながら本設備の場合、鑄造鋼種が多いために鑄片ダミーバーによる連々鑄はタンディッシュ繰りの面で制約が

多い。この制約を解消するためにサンドイッチ鑄造技術を開発した。

これは前ヒートの溶鋼をタンディッシュから鑄型へ完全に注入した後、つづけて同じタンディッシュへ後ヒートの溶鋼を注入し、異鋼種の連々鑄を行なう技術である。このため鋼種とは無関係にタンディッシュの使用限界まで連々鑄を行なうことが可能となった。2.2 で述べた高い連々鑄率および平均連々鑄ヒート数は、サンドイッチ鑄造技術開発および前記した連々鑄技術の向上によるものである。現在までの最多記録は 57 連々鑄であるが 30 連々鑄までは頻繁に行なっている。

#### 2.3.2 タンディッシュスライディングゲート およびガススリーブノズル

現在タンディッシュの寿命を規制しているのはノズルの溶損なので、その寿命延長を目的として、タンディッシュ・スライディングゲート<sup>5)</sup> (以下 SG と略す) の適用を進めており、10 ヒート連続使用の技術をほぼ確立した。

ガススリーブノズル<sup>6)7)</sup> (以下 G.S.N. と略す) は Al 脱酸鋼種のノズル閉塞防止を目的としているが、その効果は顕著であつて、大径ノズルへの適用により同鋼種の 1 タンディッシュ多連々鑄が可能となった。

また SG はストッパーなし注入であり、溶鋼流出量の関係から小径ノズルが前提となるので、現在全鋼種の SG 化などを目的として G.S.N. による Al 脱酸鋼種のノズル小径化試験を進めている。

#### 2.3.3 高速鑄造

操業当初には下向ノズルの使用鋼種でノズル噴出流に

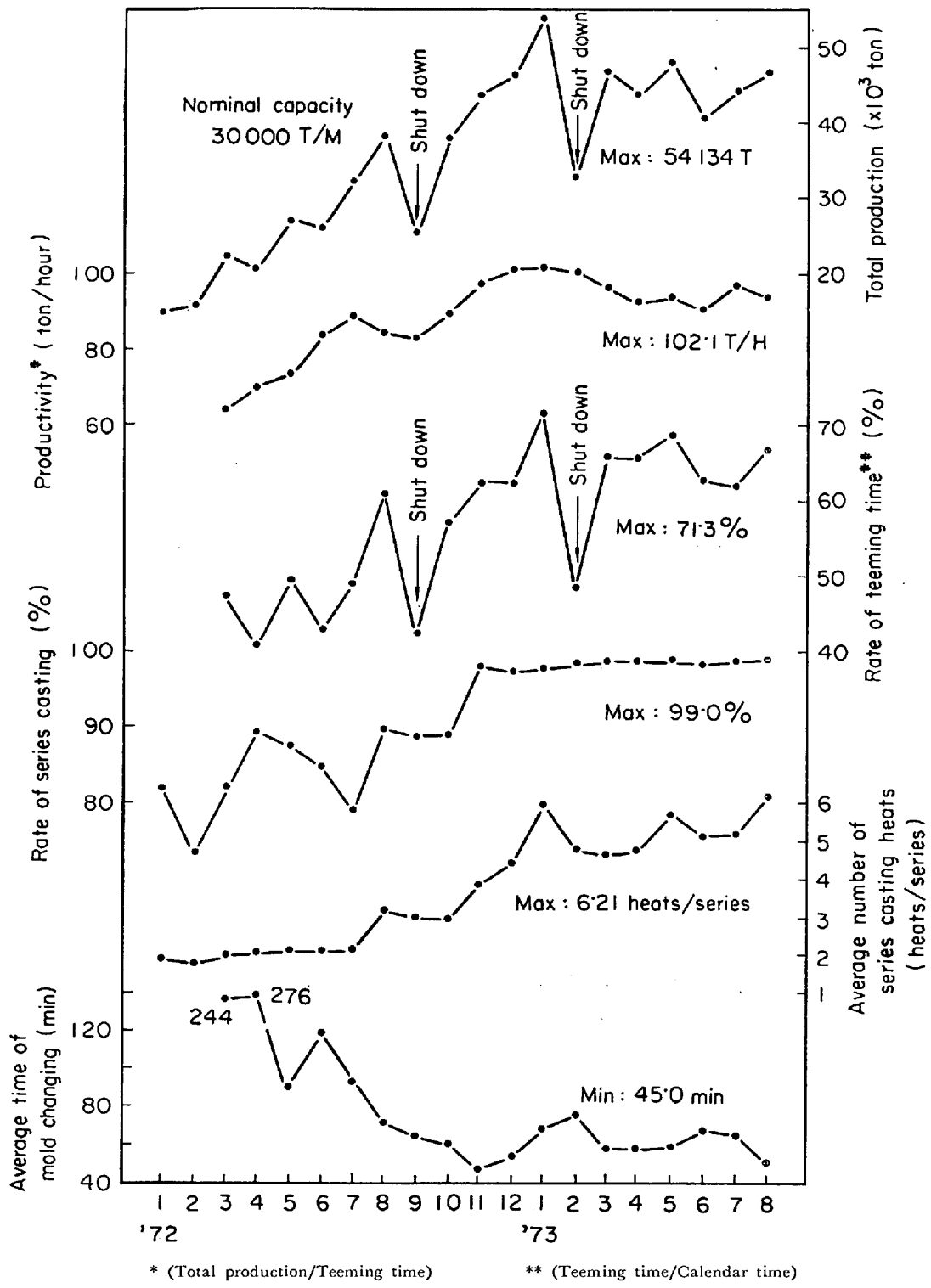


Fig. 2. Transition of total production and some operation data.

よつて凝固シェルが再溶解し、鑄型直下でのブレイクアウトが頻発したため、S添加によるトレーサー法を用い鑄型内の凝固過程を解析した。その結果上向ノズル使用により Fig. 3 に示すような安定した凝固シェル形成が可能となつたためブレイクアウトは激減し、高速鑄造が

可能となつた。すなわち、鑄型内上部では上向ノズル噴出流による攪拌作用のための凝固停滞があるが(領域I)、鑄型内下部では鑄型冷却効果が大きく(領域II)、鑄型下端では十分な厚さのシェルが安定して形成される。

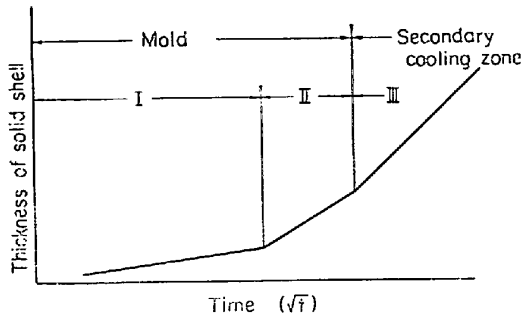


Fig. 3. Schematic solidification model of bloom, used upward type nozzle.

各領域の凝固式は次のとおりである。

領域 I :  $D = 11.1\sqrt{t} - 0.5$

領域 II :  $D = 30.0\sqrt{t} - 9.6$

[ $D$  = 凝固厚み (mm),  $t$  : 凝固時間 (min)]

従来より、領域 II では鑄型とのエア・ギャップのため凝固は遅れるといわれているが、上向ノズル使用により領域 I の凝固の停滞のため凝固シェルが薄く、鑄型とのエア・ギャップは少なくなり、領域 II での鑄型による冷却効果は大きくなるものと考えられる。B. N. KATOMIN ら<sup>8)</sup> も鑄型内での凝固係数として同程度の値を得ている。

また高速鋳打込法<sup>9)10)</sup> によつて調査した本設備の平均凝固式はつぎのとおりである。

固相線 :  $D = 29.3\sqrt{t}$

液相線 :  $D = 32.9\sqrt{t}^{11)12)}$

現在の引抜速度は 244×300 mm では最大 0.9m/min で、矯正機前完全凝固を前提とした本設備の限界速度にほぼ対応している。

### 3. 非金属介在物低減技術

連続鑄造法は鋼塊法に比較して、一般に鑄造断面が小さい上に凝固速度が速いなどの理由で非金属介在物が浮上分離しにくく、介在物への配慮が鋼塊法以上に必要となる。とくに Al-Si キルド鋼で製造される条鋼用高級鋼では、大型介在物に起因する地疵や冷間鍛造割れなどの欠陥を改善するために介在物対策はもつとも重要な製造要因となる。ここでは当所で開発した Al-Si キルド鋼の大型介在物低減技術について述べる。

鑄片に見られる介在物の起源としては脱酸生成物のほかに取鍋およびタンディッシュ注入流の空気酸化<sup>13)14)</sup>、タンディッシュのスラグ<sup>15)</sup>や鑄型内パウダー<sup>15)</sup>などが報告されている。

当所の場合、連続鑄造設備導入 (昭和 40 年) 直後のオープンノズル、パウダー鑄込および浸漬ノズルの導入

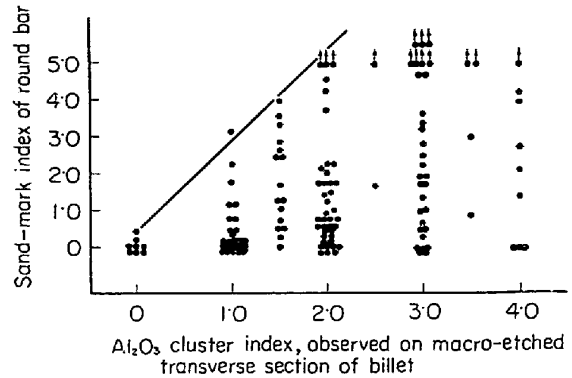


Fig. 4. Relation between sand-mark index of round bar and  $Al_2O_3$  cluster index of billet. (Al-Si killed steel)

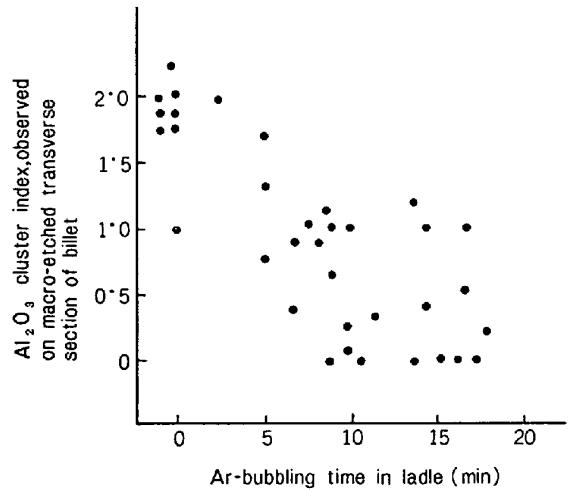


Fig. 5. Effect of Ar-bubbling in ladle on  $Al_2O_3$  cluster index of billet. (Al-Si killed steel)

Ladle submerged nozzle	Use	Not use	Not use
$Al_2O_3$ content in tundish lining refractory (%)	60	60	35
Sand mark index of round bar	0	90.1	66.6
	0.5		
	1.0		
	1.5	N=152	N=60
	2.0		
	22.5		
	Frequency (%)		

Fig. 6. Effect of ladle submerged nozzle (prevention the oxidation of ladle stream from open air) and  $Al_2O_3$  content in tundish lining refractory on sand mark index of round bar. (Al-Si killed steel)

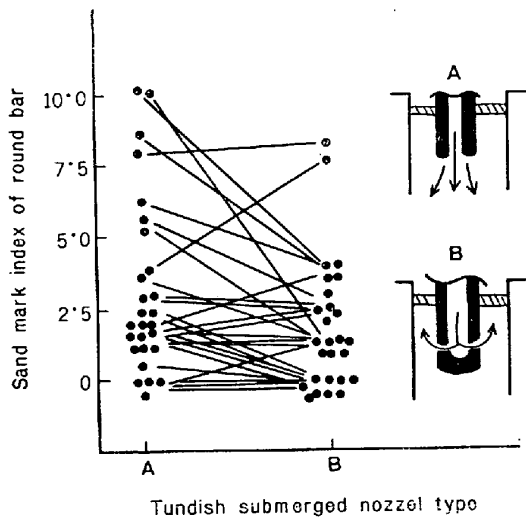


Fig. 7. Effect of tundish submerged nozzle type on sand mark index of round bar. (Al-Si killed steel, --- shows same heat)

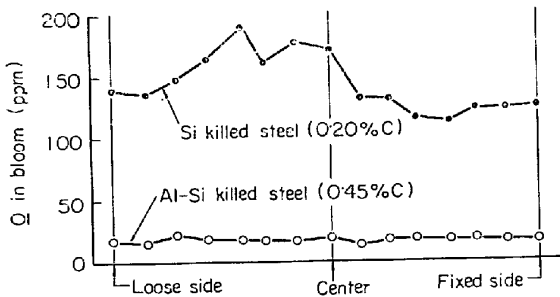


Fig. 8. Typical distribution of O in bloom.

期においては鑄型内パウダーの捲込が地疵の主因であつたが、浸漬ノズル鑄込の安定後、地疵の原因はほとんどアルミナクラスターとなつた。

Fig. 4 は鑄片から圧延されたビレットのマクロ腐蝕面にあらわれるアルミナクラスターによるエッチピット<sup>16)</sup> 評点と棒鋼の地疵評点との関係である。

当所のアルミナクラスター低減技術は (i) 鑄型へ注入される以前での低減および (ii) 鑄型へ注入後の浮上分離による低減に大別でき (i) としては脱酸生成物の取鍋での浮上分離、取鍋注入流の空気酸化防止、およびタンディッシュ内張耐火物の適正な選定によるアルミナクラスター生成の抑制が、また (ii) としては上向ノズルによる浮上分離促進がとくに重要である。

Fig. 5 に取鍋 Ar 攪拌, Fig. 6 に取鍋注入流のロングノズルによる空気酸化防止およびタンディッシュ耐火物高アルミナ化の効果を示す。取鍋 Ar 攪拌の効果は脱酸生成物の浮上分離を、タンディッシュ内張耐火物の高アルミナ化の効果は、sol Al による耐火物中 SiO<sub>2</sub> の還元<sup>13)</sup> によるアルミナクラスターの生成抑制を示すと

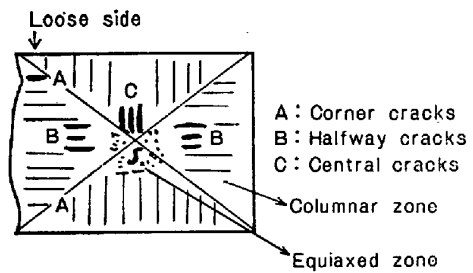


Fig. 9. Schematic internal cracks of casting bloom.

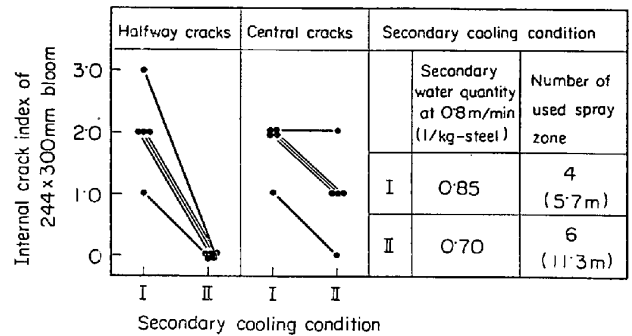


Fig. 10. Effect of secondary cooling condition on internal cracks of 244 x 300 mm bloom. (0.18~0.22%C, --- shows same heat and same casting speed)

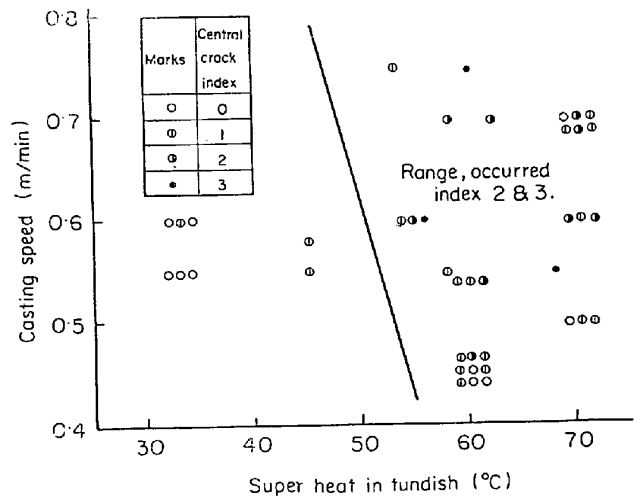


Fig. 11. Influence of casting temperature (super heat) and casting speed on central crack index. (0.18~0.24%C, 244 x 300 mm bloom)

考えられる。

Fig. 7 に上向ノズルの効果を示す。上向ノズル適用例はスラブを含め数例報告<sup>13) 17) 18)</sup> されているが、当所では昭和 43 年より上向ノズルを使用しており、その効果は顕著である。すなわち下向ノズルでは噴出流の浸入深さが大きく、介在物の浮上分離は困難であるが、上向ノズ

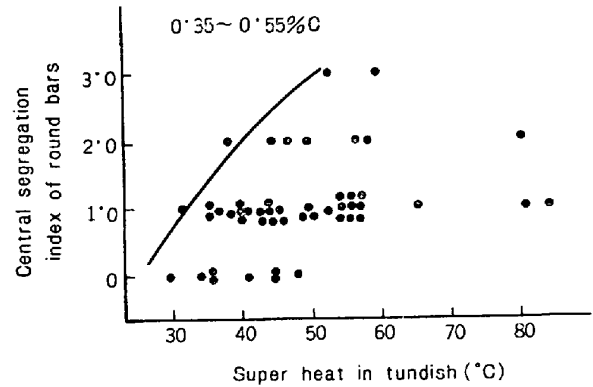
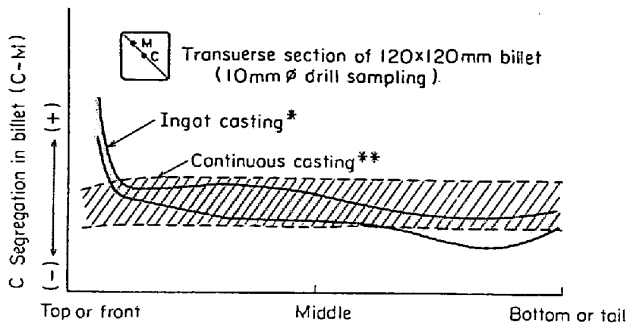


Fig. 12. Comparison of C segregation in billet between continuous casting and ingot casting (schematic).

Fig. 13. Relation between casting temperature (super heat) and central segregation index of round bars.

\* Ingot weight : 5.45 t (0.45%C.)  
 \*\* Casting size : 244 × 300 mm (0.20~0.45%C)

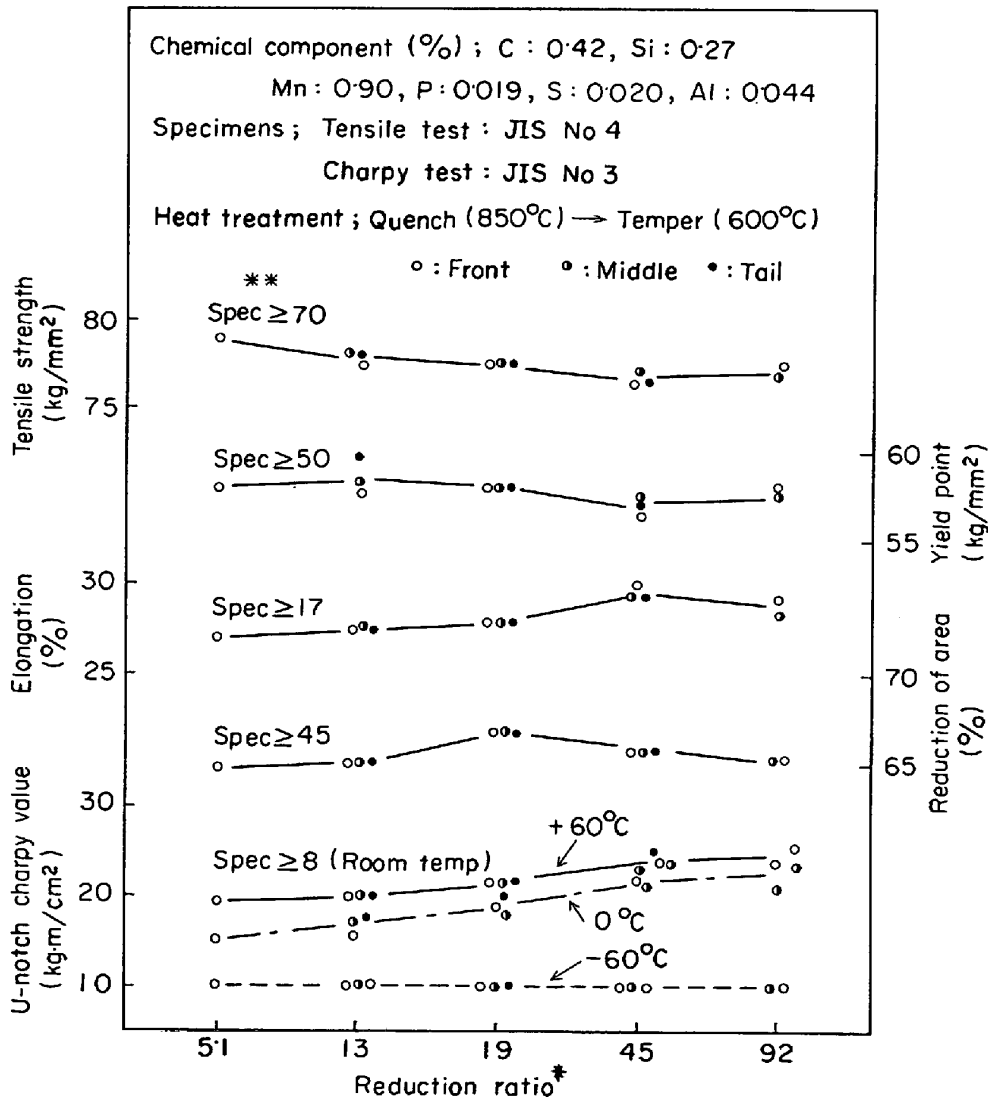


Fig. 14. Relation between reduction ratio and mechanical properties (Al-Si killed steel)

\* (Area of casting bloom)/(Area of round bars or billet)  
 \*\* Old JIS Specification.

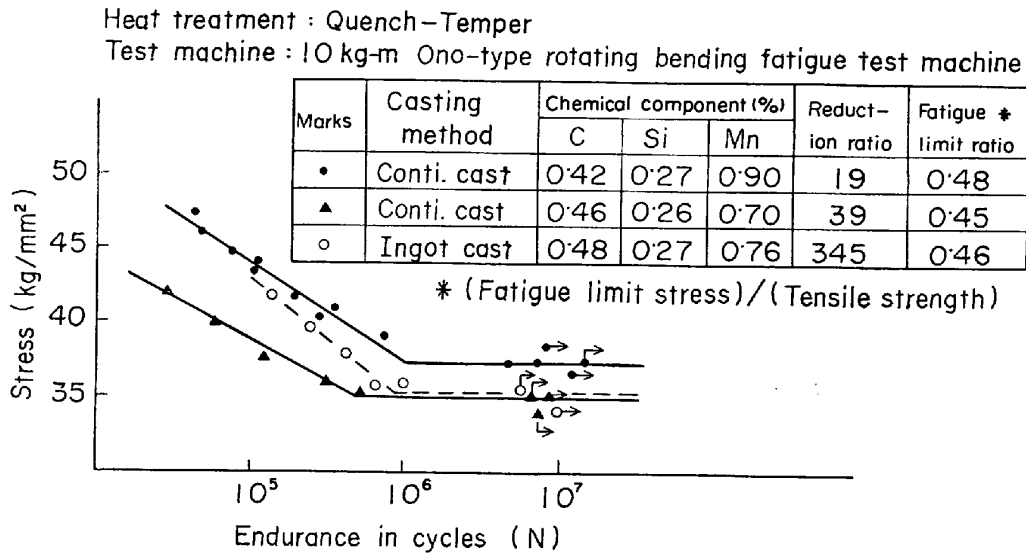


Fig. 15. Comparison of fatigue properties between continuous casting and ingot casting. (Al-Si killed steel)

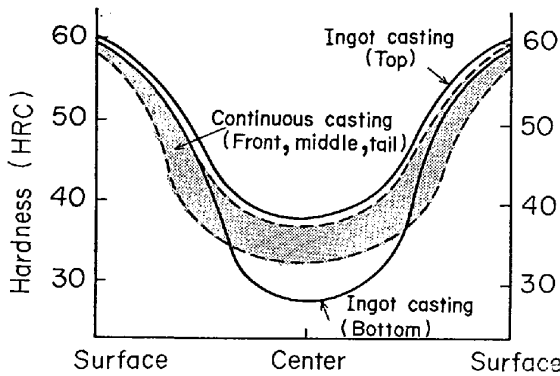


Fig. 16. Comparison of hardinability (SAC test) between continuous casting and ingot casting (0.45%C, Al-Si killed steel).

ルでは介在物は上向に放出され、容易に熔融パウダー層に捕捉される。

Fig. 8 に Si キルド鋼および Al-Si キルド鋼の铸片横断面分布の一例を示す。円弧型連铸機ではルーズ面側への介在物の集積が広く認められているが、本設備の場合、O レベルの高い Si キルド鋼ではその傾向は明りょうであるが、前記の介在物低減技術を適用した O レベルの低い Al-Si キルド鋼ではほとんど認められない。

また 2.3.2 で述べた G.S.N はアルミナクラスターの分散効果があり、地疵を改善する<sup>7)</sup>。

#### 4. 内部性状

##### 4.1 内部割れ

本設備でのブルームの内部割れは Fig. 9 に示すように、隅割れ、中間部割れ、および中心部割れに分類でき

る。隅割れは铸片の菱形変形によるとされているが<sup>19)20)</sup>本設備の場合にはバルジングを伴うことが多く、バルジングによつて铸片表面側隅部に作用する引張応力によつて発生すると考えられる。

中間部割れは熱応力起因であつて、Fig. 10 に示すように注水比減少と注水ゾーンの延長によつて顕著に改善できる。

中心部割れは铸片ルーズ面側で大きく、その方向は矯正機加圧方向とほぼ平行である。円弧型連铸材の中心部割れは、前記の熱応力 (Fig. 10) のほかに矯正機の加圧力、矯正点での曲げおよび 4.2.3 で述べるルーズ面で柱状晶が発達しやすいことも考慮する必要がある。Fig. 11 に中心部割れへの铸込温度と引抜速度の影響を示すが、低温铸込 (等軸晶増大) の効果が著しいことから、ルーズ面側で割れの大きい理由としては、組織差の影響<sup>21)</sup>が大きいと考えられる。

成分の影響については MOROZENSKII ら<sup>22)</sup>が連続铸造材の割れ感受性は 0.17~0.22%C で大きく、また S の影響も大きいことを示しているが、当所の経験とよく一致する。

##### 4.2 成分偏析

Fig. 12 にピレットでの 10 mm φ ドリルによる数多くの分析結果から連続铸造材と鋼塊材の C 偏析状況を模式的に示した。図から明らかなように連続铸造材には鋼塊材のトップ部正偏析、およびボトム部負偏析のような長手方向の明りょうな不均質性は存在せず、鋼塊材よりも均質といえる。一方横断面内の C 差のバラツキ幅は連続铸造材がやや大きい。この理由は広く知られている

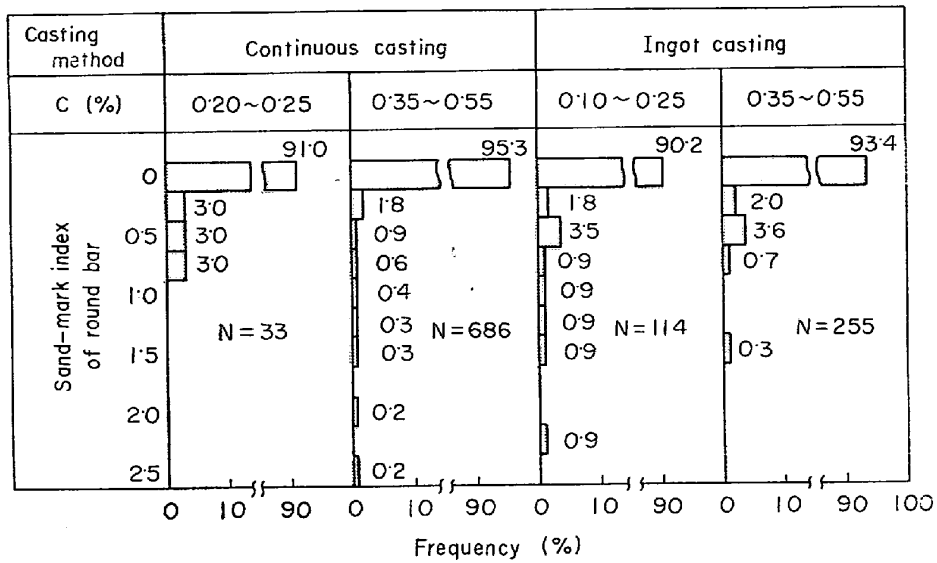


Fig. 17. Comparison of sand-mark index (9~85 mm φ) between continuous casting and ingot casting (Al-Si killed steel).

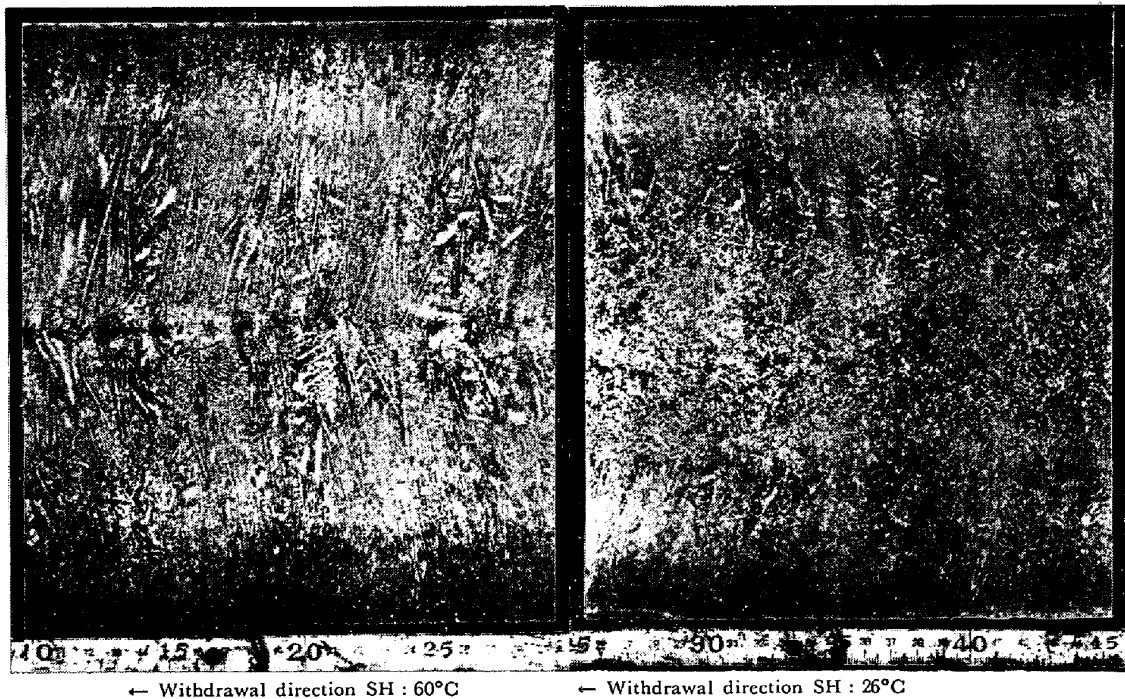


Photo. 1. Relation between macro-structure (longitudinal) of bloom and casting temperature in tundish (Super heat).

ように連続 铸造材の軸心部正偏析とその周囲の負偏析部<sup>23)</sup>のためと考えられる。この偏析パターンは4.2.3で述べるように高温鑄込材で発生しやすい。

4.3 マクロ組織

Photo. 1 に鑄片マクロ組織と鑄込温度の関係を示す。よく知られているように、鑄込温度が高いほど柱状晶の発達は著しく、低温鑄込では中心部に等軸晶が形成され、円弧型連鑄機の鑄片の特徴として等軸晶はフィックス面

側で厚い。また柱状晶は、熱流の方向(引抜方向の逆方向)に傾斜している。

Photo. 2 および Fig. 13 に成品軸心部の偏析パターン(中心偏析)と鑄込温度の関係を示す。中心偏析は、4.2.2 で述べた理由から目玉状となる場合が多いが、低温鑄込を行ない中心部を等軸晶とすることによつて軽減できる。



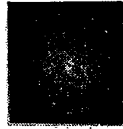
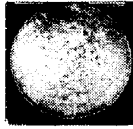
Casting temperature in tundish (SH)	60°C	35°C
Central segregation index	3.0 (Very sharp)	0 (Nil)
Macro-structure of round bar		

Photo. 2. Effect of casting temperature on central segregation of round bar (macro-structure of transverse section).

## 5. 成品の品質

連続鑄造材から製造された成品の品質特性に関する報告は多い。ここでは当所での調査結果の一例を述べる。

Fig. 14~17 に Al-Si キルド鋼の圧延比と機械的性質、疲労、焼入性 (SAC 試験) および地疵の調査結果を示す。

機械的性質は圧延比 5.1 でも旧 JIS 規格を十分に満足しており、疲労限度比は鋼塊材と同等である。焼入性は 4.2.2 で述べたごとく連続鑄造材は長手方向の成分変動が小さいので、鋼塊材に比べて安定している。また 4.1 で述べた介入物低減技術の適用により、地疵は鋼塊材と同等である。

以上の結果から連続鑄造材の品質は鋼塊材と同等であるが、長手方向の成分変動が小さいので焼入性は優れていると言える。

## 6. 結 言

室蘭製鉄所第 2 連続鑄造機の設備、操業、および品質の特徴について述べた。連続鑄造法は量的にも品質的にも今後の発展が予想されるが、本設備の今後の課題は、操業面では連々鑄の拡大による 1 サイズ 1 キャストへの挑戦と無人注入技術の開発であり、品質面では鋼塊法によるキルド鋼全鋼種の連続鑄造化に集約できる。

### 文 献

- 1) 新日鉄室蘭, 第 51 回製鋼部会資料 (昭和 47 年 3 月)
- 2) H. Horiguchi and H. Fujii: Nippon Steel Technical Report Overseas 1 (1972), p. 55

- 3) 加藤, 遠藤, 木村, 三原: 日本機械学会誌, 76 (1973), p. 551
- 4) 三原, 吉田, 岩佐, 山本: 製鉄研究, 279(1973), p. 34
- 5) A. V. WIEBEL: Blast Furn. Steel PI., 57 (1969), p. 741
- 6) T. R. MEADOWCROFT and R. J. MILBOURNE: J. Metals, (1971) June, p. 11
- 7) 新日鉄室蘭: 第 56 回製鋼部会資料 (昭和 48 年 11 月)
- 8) B. N. KATOMIN and V. S. RUTES: Nauk OTN (1957) Jan. 123
- 9) 牛島: 日本鉄鋼協会第 4 回西山記念技術講座 (1968) p. 117
- 10) 竹原, 宮崎: 三菱重工技報, Vol 6 No 5, p.615 特許 (昭和 46-21092)
- 11) 根本, 川和, 宮原: 鉄と鋼, 58 (1972), S113
- 12) 川和: 日本学術振興会, 19委, 9477 (1972)
- 13) 根本, 川和, 佐藤, 坂本: 同上, 58 (1972), p. 387
- 14) 松永, 波本, 荒木: 同上, 59 (1973), p. 72
- 15) 森, 田中, 平井: 同上, 56 (1970), p. 1824
- 16) National Open Hearth Steel Committee: Deoxidation of Steel (1957) [A.I.M.E.] p. 26
- 17) A. B. GROSSBRENNER, et al.: Iron Steel Eng., (1971) May. p. 37
- 18) 米国特許: 3, 517, 726
- 19) 森: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 1511
- 20) 菅野, 鈴木: 連続鑄造法 (1969) [日刊工業新聞社], p. 56
- 21) 牛島: 鉄と鋼, 47 (1961), p. 116
- 22) L. T. MOROZENSKII, et al: Stal in Eng., (1965) p. 272
- 23) たとえば, 新日鉄広畑: 第55回製鋼部会資料