
高級条鋼連続鑄造技術の確立 ―ブルーム品質の改善―

Improvement in Continuous Bloom Casting Technique for High Quality Bar Products and Seamless Tubes

江本 寛治(Kanji Emoto) 児玉 正範(Masanori Kodama) 深井 真(Makoto Fukai)
野崎 努(Tsutomu Nozaki) 吉門 照幸(Teruyuki Yoshikado)

要旨：

水島製鉄所第1製鋼工場に設置された2基のブルーム連続鑄機により高級線棒および継目無鋼管用素材の連続鑄造を進めてきた。第1連続鑄機は昭和43年に稼働し、8ストランドで200×220～250×300mmの4サイズのブルームを鑄造している。また昭和48年に稼働した第3連続鑄機は、ビームブランクおよびブルームの兼用機であり、ブルームサイズは高級鋼の鑄造を目的として、300×400mm、240×400mmの大断面モールドを採用した。高級鋼に連続鑄法を適用するにあたり、ひび割れ、気泡欠陥、表層直下の内部割れ、非金属介在物、中心偏析などの鑄片欠陥が問題となったが、モールドパウダー、冷却水、溶鋼温度などの操業条件の検討によりこれら欠陥は解消され、高級鋼の工程的連続鑄造を達成した。

Synopsis：

The No.1 Steelmaking Shop of Mizushima Works has in operation two unique units of continuous bloom casters; one being an 8-strand curved type caster with mold size ranging from 200×220mm to 250×300mm, having been in service since 1968 as the biggest of its kind at that time with high productivity, and the other a 4-strand curved type caster that was commissioned in 1973 and produces not only blooms but also beam blanks for H-shapes. Blooms cast in the latter extend 300×400mm and 240×400mm in cross section with beam blank 120×400×460mm in web thickness, flange width and web height, respectively. Such largeness of blooms offer great advantage in guaranteeing the reliability of products, especially the internal quality of high grade steels such as for machine structural use, piano wire, steel tire cord, seamless tubes and so on. As a result of positive efforts promoted using these two casters in applying CC-process to killed steel in recent years, almost all the steel grades of bars, wire rods, round billets and structural shapes can be produced through CC-process at present. During the application of CC-process, various problems had to be faced; surface defects such as hot shortness cracks, pinholes, subsurface cracks, slag inclusions, center segregation and non-metallic inclusions. These defects have, however, all been solved by suitable countermeasures, details of which are reported in the paper.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

高級条鋼連続鑄造技術の確立
——ブルーム品質の改善——Improvement in Continuous Bloom Casting Technique for
High Quality Bar Products and Seamless Tubes

江 本 寛 治*

Kanji Emoto

児 玉 正 範**

Masanori Kodama

深 井 真***

Makoto Fukai

野 崎 努****

Tsutomu Nozaki

吉 門 照 幸*****

Teruyuki Yoshikado

Synopsis:

The No. 1 Steelmaking Shop of Mizushima Works has in operation two unique units of continuous bloom casters; one being an 8-strand curved type caster with mold size ranging from 200×220mm to 250×300mm, having been in service since 1968 as the biggest of its kind at that time with high productivity, and the other a 4-strand curved type caster that was commissioned in 1973 and produces not only blooms but also beam blanks for H-shapes. Blooms cast in the latter extend 300×400mm and 240×400mm in cross section, with beam blank 120×400×460mm in web thickness, flange width and web height, respectively. Such largeness of blooms offer great advantage in guaranteeing the reliability of products, especially the internal quality of high grade steels such as for machine structural use, piano wire, steel tire cord, seamless tubes and so on.

As a result of positive efforts promoted using these two casters in applying CC-process to killed steel in recent years, almost all the steel grades of bars, wire rods, round billets and structural shapes can be produced through CC-process at present. During the application of CC-process, various problems had to be faced; surface defects such as hot shortness cracks, pinholes, subsurface cracks, slag inclusions, center segregation and non-metallic inclusions. These defects have, however, all been solved by suitable countermeasures, details of which are reported in this paper.

1. 緒 言

水島製鉄所は昭和43年6月にブルーム専用の第

1 連鑄機を、ついで48年10月にブルーム・ビーム
ブランク兼用の第3 連鑄機を設置した。第3 連鑄
機の特徴はブルームとビームブランクの兼用機で
あること、および高級鋼も製造することを目的と

* 水島製鉄所製鋼部製鋼管理課課長

*** 水島製鉄所管理部厚板管理課

***** 水島製鉄所工程部計画課掛長

〔昭和52年1月5日原稿受付〕

** 水島製鉄所製鋼部製鋼管理課掛長

**** 技術研究所水島研究室主任研究員・理博

して非金属介在物の浮上に有利な $300 \times 400\text{mm}$ 、 $240 \times 400\text{mm}$ の大断面サイズを採用したことである。

当所ではこれらの連鑄機により、H形鋼、異形棒鋼、鉄筋コンクリート用棒鋼、鋼矢板などの普通鋼の生産を行うとともに、機械構造用鋼、硬鋼線材、継目無鋼管用素材などの高級鋼の製造を進め、工程化を実現することができた。本報ではこれらの高級鋼の連鑄法による製造状況と、鑄片品質上の問題点およびその対策について述べる。

2. 設備・工程の概略

まず連鑄機の概略仕様を Table 1 に示す。第3連鑄機は1タンディッシュであること、2点曲げ矯正を採用していること、ブルームサイズが大断面であることなどが第1連鑄機と異なっている。

2基の連鑄機により製造される鋼種およびブルームサイズを Table 2 に示すが、機械構造用炭素

Table 1 Specifications of continuous casters

		No.1 CCM	No.3 CCM
Ladle capacity (t)		200	200
Machine type		Concast S-type 8-strand bloom caster	Concast S-type 4-strand bloom and beam blank caster
Start of operation		June, 1968	October, 1973
Tundish	Number	2	1
	Capacity (t)	10	25
Bloom size (mm) and (withdrawal speed) (m/min)		$200 \times 220(1.10)$ $200 \times 300(0.95)$ $250 \times 250(0.90)$ $250 \times 300(0.85)$	$240 \times 400(1.10)$ $300 \times 400(0.90)$
Mold level control system		Automatic speed control by γ -ray detection of mold level (without tundish stopper)	
Bending radius (m)		12.5	12.5, 22(2-point unbending)

Table 2 Steel grades and bloom size

(mm)

Grade or application	No. 1 CCM	No. 3 CCM	Note
Carbon steel for machine structural use	250×250	300×400	Bar in coil Bar($\leq 75\phi$)
Rolled carbon steel for cold-finished steel bars	250×250	300×400	
Carbon steel wire rods for cold heading and cold forging	250×250		
Steel rods for chains	250×250	300×400	
Low carbon steel wire rods	250×250		
High carbon steel wire rods	250×250	240×400	$C \leq 0.85\%$
Wire rods for steel tire cord	250×250		
Piano wire rods		240×400	
Uncoated stress-relieved steel wire for prestressed concrete		240×400	
Uncoated stress-relieved steel bar for pre-stressed concrete	250×250		
Seamless steel tubes	250×250 250×300	300×400	
Steel H-shapes	200×220 200×300 250×300	240×400 300×400 $400 \times 460 \times 120^*$	*Beam blank size
Steel sheet piles		240×400 300×400	
Steel bar for concrete reinforcement	250×250 250×300	300×400	

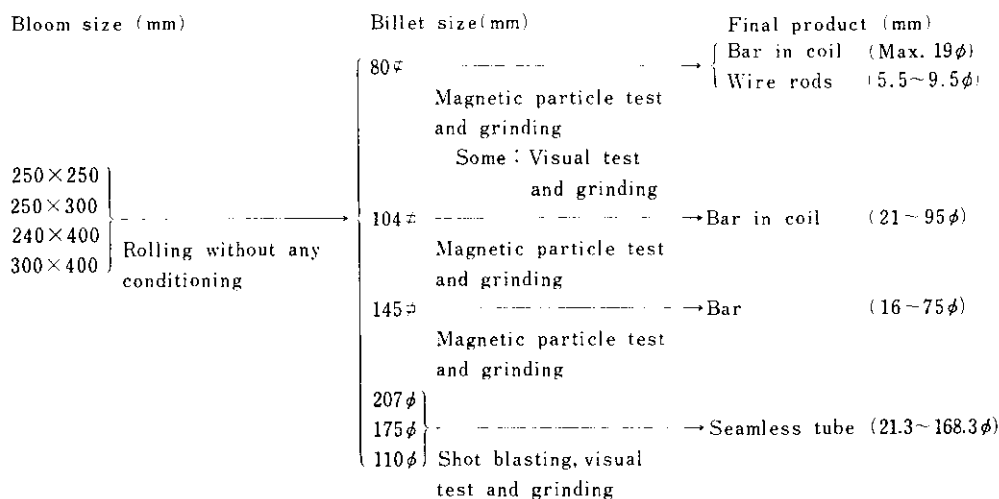


Fig. 1 Rolling and conditioning process of blooms and billets

鋼から継目無鋼管まではイメージジョンノズルおよびモールドパウダーを用いた鋳造であり、H形鋼、鋼欠板、異形棒鋼、鉄筋コンクリート用棒鋼は大部分オープンノズル鋳造である。

線棒および継目無鋼管用素材の製造工程、検査、手入方法を Fig. 1 に示す。鋳片はすべて無手入でビレットに圧延するので、表面性状の特に良好な鋳片が要求される。

3. 鋳片欠陥の概要とその防止対策

3・1 ひび割れ

10~20mm 径の亀甲状割れや、5~10mm 長さの毛割れで、深さは2~4mmである。鋳片全面に発生し黒皮では検出しにくい。ビレットや成品にまで残存し、特に棒鋼、継目無鋼管に微細な表面疵として残存しやすい。Photo. 1 に示すひび割れ部分の顕微鏡組織から、この欠陥は内部酸化、脱炭を伴った粒界割れであることが認められる。したがって、スラブ連鋳の場合¹⁻³⁾と同様にモールド内またはスプレー帯上部での局所的急冷に起因するものと推定される。

次にひび割れ発生に影響する諸因子について述べる。

(1) モールドパウダーの影響

モールドパウダーの性質としてはモールド、鋳片間に均一に流入し、均一な凝固シェルを形成す

ることが重要であり、適切な物性をもつパウダーを選択する必要がある。

Table 3 に示す2種類のパウダーによりひび割れに及ぼす粘度の影響を調査した。Fig. 2 から明



Photo. 1 Nital etched structure of transverse section across a hot shortness crack (S45C, original magnification: ×20)

Table 3 Viscosity of mold powder

Brand	CaO/SiO ₂	Viscosity (poise)		
		1 300°C	1 250°C	1 200°C
A	1.00	2.2	3.2	4.5
B	0.96	16.5	31.0	40.0

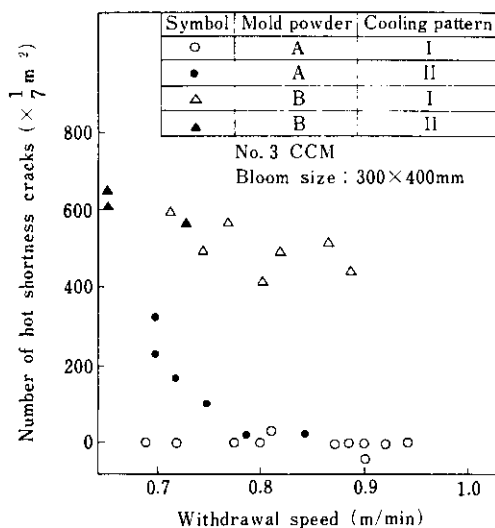


Fig. 2 Influence of mold powder and spray cooling pattern on hot shortness cracks on blooms with 0.14~0.18%C, 0.20~0.25%Si, 0.60~0.80%Mn, and trace of Al_{sol}

らかなようにパウダーの粘度の影響は大きく、低粘度パウダー A が良好である。これは低粘度パウダーは消費量が多く、モールドと銑片間に介在するスラグフィルムが厚くなる結果、銑片が均一に緩冷却されるためと推定される。一方、高粘度パウダーは消費量が少ないのでスラグフィルムが薄く局部的に急冷されるため、ひび割れが発生しやすいものと考えられる。

(2) スプレー冷却の影響

モールド直下のスプレー冷却を強化すれば、熱応力の集中によりひび割れが発生しやすいことは従来よく知られている^{1)~3)}。そこで、スラブ連鋳における析出物起因の粒界割れ対策として採用したスプレー冷却帯頭部弱冷ハターン⁴⁾をブルームに適用してみた。表面温度の計算は松野らの方法⁵⁾を拡張し、鋳造方向の熱流を無視して非定常 2 次元伝熱方程式を差分近似して行った。Table 4 に示す冷却ハターン I, II の計算銑片表面温度を Fig. 3 に示す。ハターン I は、モールド直下のモールドスプレーおよび I ゾーンの水量の少ない頭部弱冷であり、ハターン II は通常の冷却である。これら冷却ハターンのひび割れに及ぼす影響は、前出の Fig. 2 に見られるように冷却ハターン I が良好である。鋳造速度の低下に伴いひび割れ発生

Table 4 Mold and spray cooling patterns

(l/min)

	Z.L. **	Spray zone					
		Mold	M.S.*	I	II	III	IV~VI
Pattern	I	2 200	20	91	165	112	96
	II	2 200	50	150	182	126	96
	III	2 550	70	126	165	112	96

* Spray zone just under the mold

** Zone length (mm)

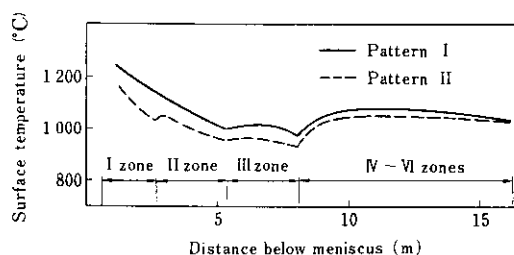


Fig. 3 Calculated bloom surface temperature for two cooling patterns

個数が増加している。これは、スプレーノズルを低背圧域で使用しているので水量は一定値となっており、鋳造速度の低下により比水量が増大することによる。

以上の結果、ひび割れに対しては、

- (1) 低粘度パウダーの適用
 - (2) スプレー冷却帯頭部弱冷ハターンの採用
 - (3) 高い鋳造速度の確保
- などが重要な対策になる。

3.2 気泡欠陥

この欠陥は Photo. 2 に示すように球形で、通常 1~2mm 径であるが 4~5mm 径に及ぶこともある。銑片表層直下に発生し黒皮では検出しにくい。製品表面に線状疵として残存する。

銑片の四つの面を 1mm ヒッチで段削りして、各面での気泡個数を計数した結果を Fig. 4 に示す。気泡欠陥は表面下 1mm 付近に最も多く発生し、深さが増すと減少する。この欠陥は一般的には脱酸不足に起因すると考えられるが、Fig. 5 に示す



Photo. 2 Transverse section of a pinhole on cast bloom

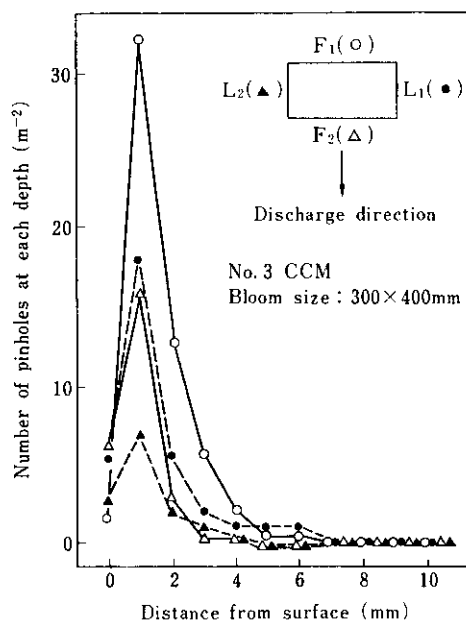


Fig. 4 Distribution of pinholes in through thickness direction in blooms with 0.48%C, 0.26%Si, 0.76%Mn, and trace of Al_{sol}

ように Al_{sol} 含有量が 0.010~0.020% でも気泡欠陥は発生し、 Al_{sol} 含有量と気泡個数とは相関が認められないことから、他の原因によるものと考えられる。

Fig. 6 に示すように、鑄造速度が低下するほど

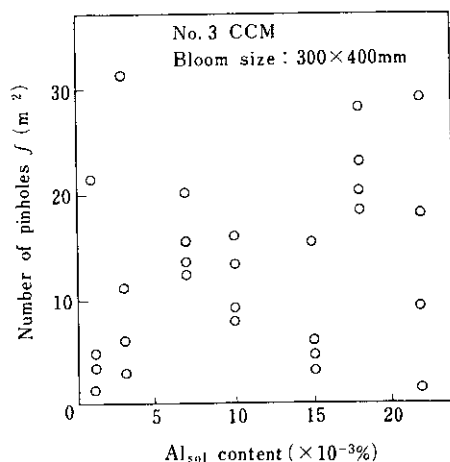


Fig. 5 Relation between Al content and pinhole frequency on one-layer-gas-scarfed surfaces of blooms with 0.14~0.18%C, 0.20~0.25%Si, 0.60~0.80%Mn

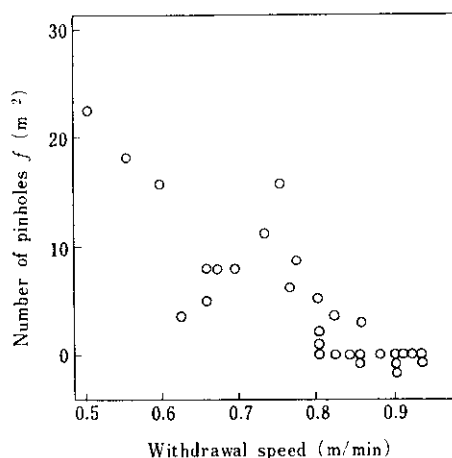


Fig. 6 Relation between withdrawal speed and pinhole frequency of blooms with 0.13~0.25%C, 0.20~0.30%Si, 0.50~0.60%Mn, and trace of Al_{sol}

気泡欠陥が発生しやすい傾向が明らかであり、ノズル嵌合部のゆるみによる大気侵入が気泡欠陥の原因であることを示唆している。当所のブルーム連鑄機はタンディシュストッパーは使用せず、 γ 線によりモールド内湯面レベルを検出し、湯面レベルを一定に保つように自動引抜制御を行っている。したがって、タンディシュの湯面とモールド湯面間の溶鋼流路において大気の侵入がない場合、鑄造速度は(1)式で示される。

$$v = \frac{c}{ab} \left(\frac{\pi}{4} \right) d^2 \sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots (1)$$

v : 鋳造速度

a, b : モールド短辺および長辺の長さ

d : タンディッシュノズル径

h : タンディッシュ内溶鋼面からモールド内湯面間の有効落差

c : 流量係数

g : 重力加速度

d が同じであっても、ノズル嵌合部から大気が侵入すると(1)式における h が減少するため鋳造速度は低下する。

Fig. 7 は、気泡欠陥の発生した鋳片を表面から 1mm ピッチで切削し、切粉の N 含有量を定量分析したものの一例であるが、表層部で N の濃化が認められる。また最表層部の N 含有量が高くなると気泡欠陥が発生しやすい傾向がある (Fig. 8 参照)。したがって、ノズル嵌合部のゆるみによる大気侵入が気泡発生の主因と考えられる。

これらの事実から浸漬ノズルの改善が必要であることが明らかになった。従来は Fig. 9(a) に示す外挿式で溶融シリカ質の浸漬ノズルを使用していたが、ジルコン質上ノズルとの熱膨張の違いによりゆるみを生ずると推定され、Fig. 9(b) に示す内挿式のアルミナ黒鉛質一体型ノズルを考案した。その結果、Fig. 10 に示すように気泡欠陥はほとんど

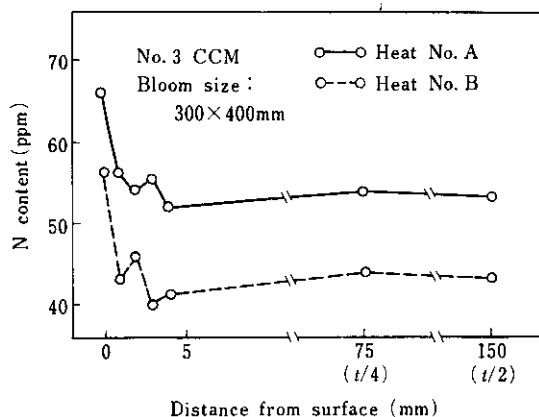


Fig. 7 Examples of distribution of N in through thickness direction in blooms with 0.47~0.48%C, 0.25~0.27%Si, 0.70~0.75%Mn, and trace of Al_{sol}

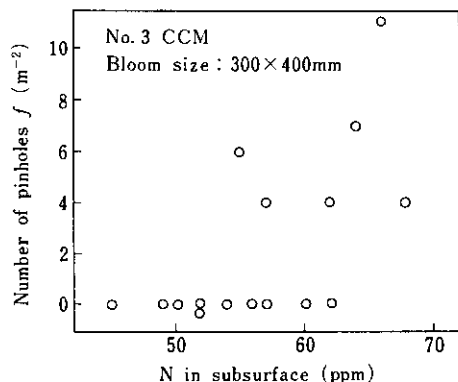


Fig. 8 Relation between N in subsurface and pinhole frequency in blooms with 0.43~0.50%C, 0.25~0.30%Si, 0.70~0.80%Mn, and trace of Al_{sol}

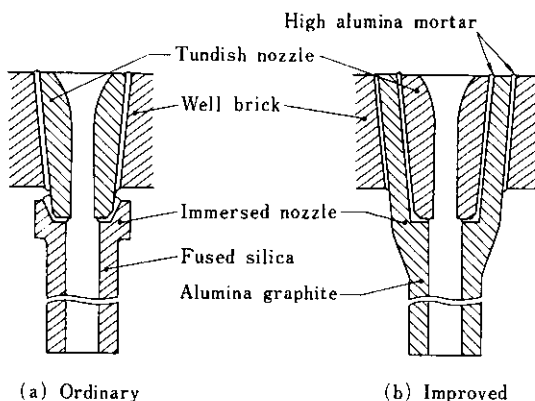


Fig. 9 Profile of immersed nozzle

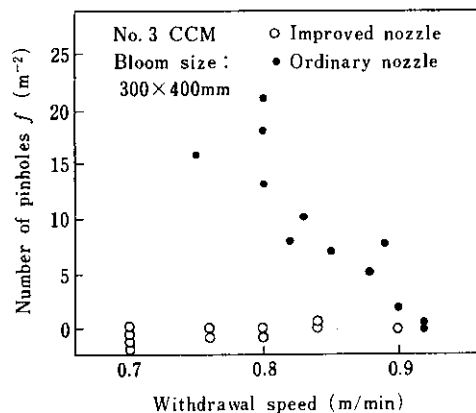


Fig. 10 Comparison between two types of immersed nozzles in terms of pinhole frequency in blooms with 0.16~0.25%C, 0.20~0.30%Si, 0.40~0.80%Mn and trace of Al_{sol}

どなくなった。この効果を確認するため、この一体型ノズルの直上にタンディシュトッパーを取付け、その先端から Ar ガスをモールド内に吹き込んだときの気泡欠陥発生状況を Fig. 11 に示す。Ar ガスは鑄造開始から鑄片 7 本目相当位置まで 1 ~ 2 l/min 吹き込み、8 本目以降は吹き込みを停止した。Ar ガス吹き込み中は気泡欠陥が発生するが、停止後は発生がみられないことから、モールド内混入気体によって気泡欠陥が発生することがわかる。

以上の結果から、従来の外挿式ノズル使用時の気泡欠陥の発生機構は次のように推察される。すなわち、ノズル嵌合部から大気が吸入され、モールド内で小気泡となって浮上し、メニスカス近傍で浮遊する。このうちモールド壁近傍の小気泡が、オシレーションなどの湯面変動により凝固シェルに捕捉されて気泡欠陥になる。

ところで、Si キルド鋼ではガス吹き込みを行わなくてもノズル詰りの懸念は少ないが、Al 添加鋼ではアルミナの析出によるノズル閉塞防止のためにガス吹込ノズルを使用しなければ安定な鑄造はできない。しかし前述のように、Ar ガスを使用すると気泡欠陥になることから、溶鋼に溶解度を有する N₂ ガスを試用した。すなわち、Fig. 12 に示すガス吹込一体型ノズルを使用して、Ar ガスまたは N₂ ガスを供給量を変えて吹き込んだ。調査結果を Fig. 13 に示す。N₂ ガスを使用すると気泡発生が著しく減少した。したがって、N₂ ガス流量を適正值に設定することによって、Al 添加鋼のガ

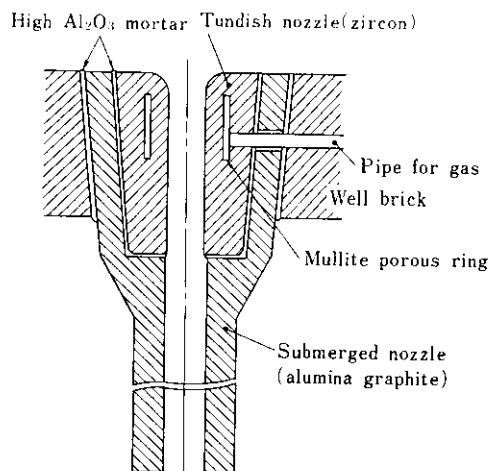


Fig. 12 Profile of gas sleeve nozzle (mono-block type)

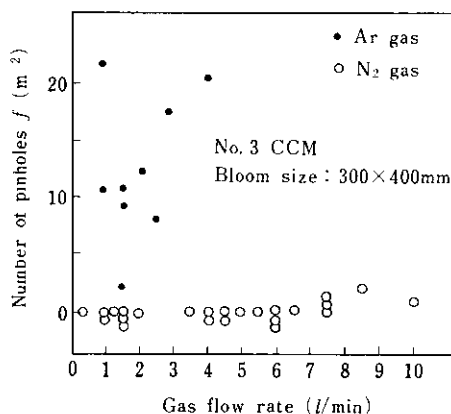


Fig. 13 Comparison of N₂ with Ar injected into mold in terms of pinhole frequency in blooms with 0.13 ~ 0.25% C, 0.20 ~ 0.30% Si, 0.40 ~ 0.60% Mn, and trace of Al_{tot}

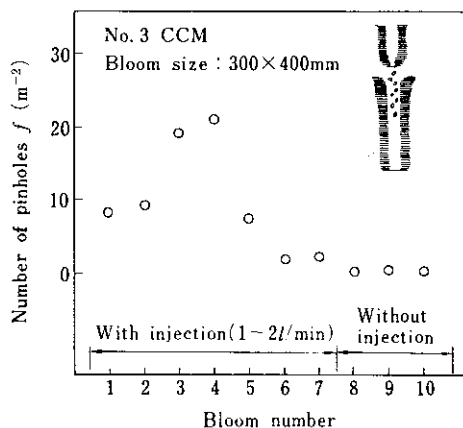


Fig. 11 Influence of Ar injection into mold on pinhole frequency in blooms with 0.25% C, 0.22% Si, 0.56% Mn, and trace of Al_{tot}

ス吹き込みの問題も解決できた。

3.3 表層直下の内部割れ

表層直下の内部割れ（以下内部割れと記す）は表層下 6 ~ 20 mm の位置に発生し、割れ長さは 10 ~ 30 mm である。鑄片の上下面とも発生する。0.3% C 以上の高炭素鋼に発生しやすく、割れがピレット圧延時に開口することもある。割れ先端にはクラスター状に密集した硫化物介在物が見られる。表層下 15 mm の位置に発生した内部割れのサルファーフロント例を Photo. 3 に示す。

鑄片の内部割れ位置から推定すると、割れはモールド直下で発生しており、凝固シェルが薄い

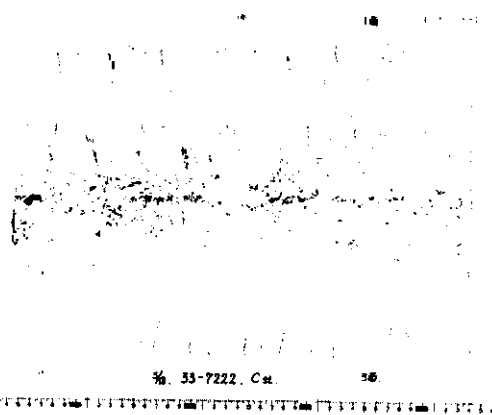


Photo. 3 An example of S-print on the longitudinal mid-section of a bloom showing subsurface cracks

きにモールド下端でバルジングを起こしたり、ローラーエプロンの不整合により臨界歪以上の歪を生じたりすると内部割れが発生する。臨界歪は鋼種により異なるが、C含有量が高いほど小さく⁶⁾、0.3%C以上の高炭素鋼に内部割れが発生しやすい。したがって、モールド直下での凝固シェルを強固に、かつ均一にすることが重要である。凝固シェル強度を増すためには、凝固シェルを厚くする必要がある。

Fig. 14 にモールドパウダーおよび C 含有量のモールド抜熱量に及ぼす影響を示す。低粘度パウダー A が高抜熱量を得るのに有効である。Fig. 15, Fig. 16 に各々モールド抜熱量 Q (kcal/m²) およびスプレーパターンの内部割れ発生に及ぼす影響を示す。内部割れの防止には $Q/v(a+b)$ を 13 000 kcal/m² 以上に保つことが必要であり、比較的強冷のスプレーパターンⅢがⅠより有利である。両対策とも凝固シェルの厚さを増すとともに強度をも上昇させるため、鋳片の変形歪が少なくなると考えられる。

ひび割れ対策として採用したスプレー冷却帯頭部弱冷パターンは、内部割れに不利であり、割れ感受性の高い 0.30%C 以上の高炭素鋼では冷却パターンⅢを採用することとした。モールド直下のスプレー冷却水量を増加しているの、ひび割れに対して不利であるが、Fig. 2 に示したように高めの鋳造速度を確保すれば、ひび割れの発生を防止できる。

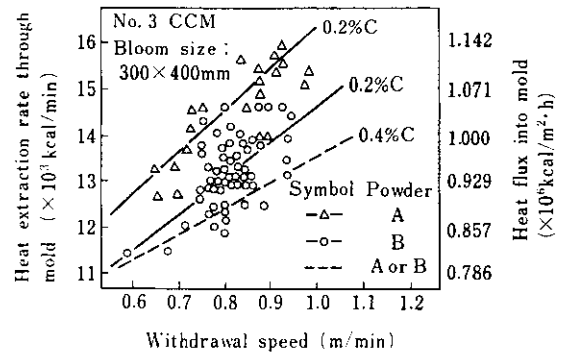


Fig. 14 Influences of withdrawal speed and mold powder on heat extraction through mold

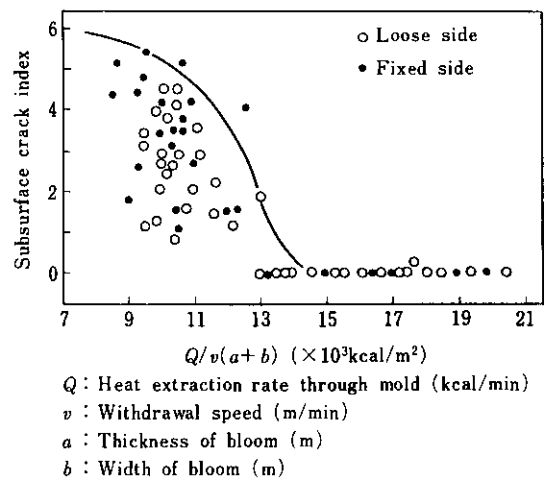


Fig. 15 Influence of heat extraction index $Q/v(a+b)$ on subsurface crack index

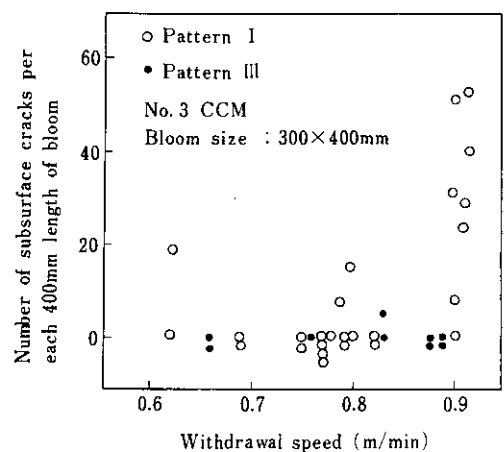


Fig. 16 Comparison between two cooling patterns in terms of subsurface cracks in S45C blooms

3・4 大型非金属介在物

機械構造用炭素鋼，継目無鋼管などで要求される地疵検査に関しては特に大型介在物が問題にされる。大型介在物の起源は脱酸生成物，酸化物，モールドパウダーの巻込みなどであるが，大部分は注入時の空気酸化，モールドパウダーの巻込みなど外来性の介在物である⁷⁾。したがって，タンディシュ注入前の溶鋼の清浄性を高めるのはもちろんのこと，介在物の増加を防止し，またモールド内への流入を防止することが重要である。このため，Fig. 17 に示すように取鍋～タンディシュ間をシールして注入流の空気酸化を防止し，またタンディシュに対しては注入湯当たり部にトンネル式のレンガ積みを行って湯面スラグのたたまみを防ぎ，さらに堰を設けて介在物の凝集，浮上分離を促進させるようにした。この結果，地疵成績は Fig. 18 に示すように極めて良好である。なお地疵判定は Table 5 に示す基準によった。第3連鑄の地疵成績は第1連鑄に比較してすぐれているが，これは大型タンディシュおよび大断面モールドの採用のほかにタンディシュ内への堰の設置，モールド内へのガス吹込み，黒鉛質一体型ノズルの採用などが非金属介在物の減少に有効なためと考えられる。

介在物の浮上分離は鑄造温度が高いほど促進されることはよく知られているが，Fig. 19 に示すようにタンディシュ内溶鋼温度が高いほど地疵成績は良好であり，温度管理の重要性を示している。

3・5 中心偏析

0.6～0.8% C の高炭素鋼鑄片では，軸心部にセンターポロシティを伴った中心偏析が問題となることが多い。中心偏析は鑄造温度が高くなるにつれ

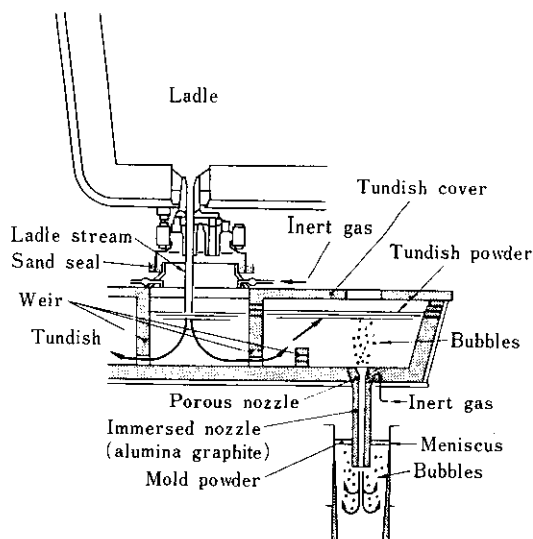


Fig. 17 Schematic representation of improved system for decreasing inclusions in blooms for machine structural use

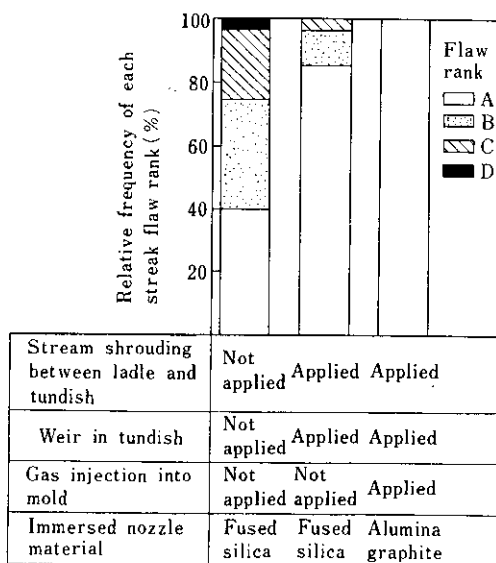


Fig. 18 Influence of casting means on macro streak flaw in 38mmφ bars with 0.45%C

Table 5 Classification of streak flaw ranks

Rank	Total number of streak flaw*	Summation of streak flaw length*	Maximum streak flaw length*
A	≤ 7	≤ 15	≤ 4
B	—	≤ 20	≤ 8
C	—	≤ 40	≤ 20
D	—	≤ 50	≤ 30

* JIS G 0556

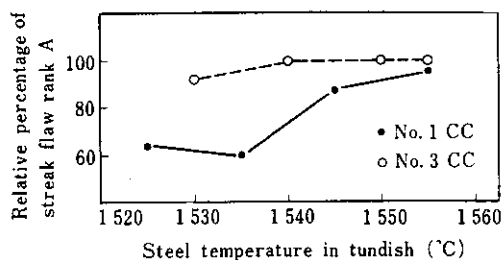
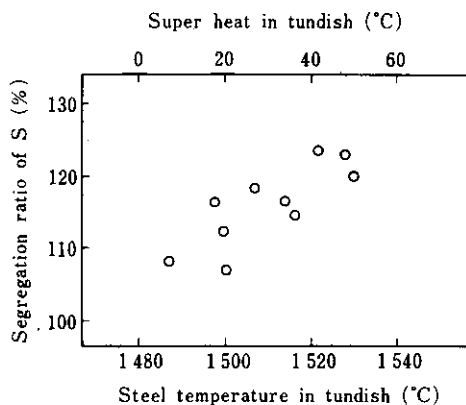


Fig.19 Influence of steel temperature in tundish on streak flaw performance for 38mmφ S45C rods



$$\text{Segregation ratio} = \frac{\text{S content at the center}}{\text{S content at 1/4 thickness}}$$

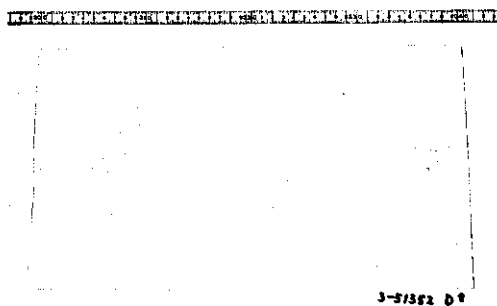
Fig.20 Influence of steel temperature in tundish on segregation ratio of blooms with 0.60~0.65%C

悪化するという多くの報告がある⁸⁾。当所においても 0.60~0.65%C の硬鋼線材で、タンディッシュ内温度と鑄片の偏析率の間に Fig. 20 に示す相関を得ており、タンディッシュ内温度が高いと柱状晶が軸心まで成長し、ブリッジを伴ったパイプ状のセンターポロシティが形成されることを確認している⁹⁾。なお、偏析率は鑄片中心と厚さ 1/4 での 3mmφ ドリル試料の S 含有量の比率である。

高炭素鋼の偏析対策としては低温鍛造を実施し、タンディッシュ内の溶鋼過熱度を 10°~25°C に管理している。一例として低温鍛造を行った SWRS 82B ブルームの鑄片長手方向断面のサルファープリントおよび 9.5mmφ 線材のマクロ組織を Photo. 4 に示すが、中心偏析は非常に軽微である。連鑄材の偏析は、造塊材と比較してボトムからトップまで均質であり、製品の機械的性質のバラツキが少ないことが特徴である。



(a) Macrostructure of the transverse section of a 9.5mmφ wire rod



(b) S-print on the longitudinal mid-section of a bloom

Photo. 4 An example of macrostructure and S-print of 0.85%C steel

4. 結 言

高級線棒および継目無鋼管用素材の連鑄に際して障害となっていた鑄片の表面欠陥および内部欠陥は、前述の諸対策により解決され、所期の鋼種を工程生産できるようになった。

高級条鋼用素材は造塊法ではキルド鋼であり、これを連鑄化することにより大幅な歩留まり向上、均質な機械的性質を有する製品の製造、煩雑な造塊作業の省略、省エネルギーなど多大のメリットがもたらされる。さらに鑄片を大断面化し、製品サイズの適用範囲拡大を図ることおよび残された合金鋼の連鑄による製造が今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 野崎ら：鉄と鋼, 57 (1971), 331
- 2) 和田ら：鉄と鋼, 57 (1971), 113
- 3) Meadowcroft, et al.: Journal of Metals, 23 (1971)6, 11
- 4) 野崎ら：鉄と鋼, 61 (1975), A17
- 5) 松野ら：鉄と鋼, 60 (1974), 1023
- 6) 大井：第 40, 41 回西山記念技術講座, (1976), [日本鉄鋼協会]
- 7) 川崎製鉄㈱千葉製鉄所, 技術研究所：日本鉄鋼協会共同研究会第 58 回製鋼部会, (1974)
- 8) 鈴木ら：鉄と鋼, 56 (1970), S272
- 9) 川崎製鉄㈱水島製鉄所, 技術研究所：日本鉄鋼協会共同研究会第 48 回製鋼部会, (1971)

