

討11 大断面ブルームおよびビームブランク連铸における操業条件と铸片品質について

川崎製鉄㈱ 水島製鉄所○児玉正範 上杉浩之 上田徹雄
技術研究所 岡野 忍 新庄 豊

1. 緒言 当社水島製鉄所では昭和43年にブルーム用第1連铸機を、続いて昭和48年にビームブランク・ブルーム兼用の第3連铸機を建設し、条鋼用素材の铸造を行なっている。さらに昭和53年には大断面ブルーム(400×560mm)の铸造に成功し、製品径の拡大を計ってきた。現在、機械構造用炭素鋼および合金鋼は製品サイズ260mmφまで、継目無鋼管は外径16"

まで製造しており、特に継目無鋼管材についてはその99%以上を連铸化している。

本稿では铸片品質向上技術を総括するとともに、ブルームサイズと铸片品質の関係について、铸込時の溶鋼流動に注目して調査した結果およびビームブランク铸片の表面品質向上について述べる。

2. ブルーム表面および内部欠陥とその対策 現在工程生産を行なっている铸造鋼種を表1に示した。主要な欠陥の防止技術についてはすでに報告してあるが⁽¹⁾⁽²⁾、特に大径の棒鋼で問題となる铸片表面気泡は図1に示したように、浸漬ノズルを改良し、嵌合部からの大気吸引を防止することにより、また表層下割れは図2に示したように、2次冷却水パターンを調整することにより解決された。

その他の表面および内部欠陥の種類と防止策を表2、3にまとめた。

3. 铸造条件と内部性状

3.1 ブルームサイズおよび溶鋼流動と介在物

湾曲型連铸機の上面側に見られる大型介在物の集積を減少させるためには、取鍋—タンデিশュ間における溶鋼の空気酸化を防止するとともにモールド内で介在物の浮上促進させることが必要である。铸片上面側に捕捉される介在物量は図3に示したようにブルームサイズで異なり、大断面サイズの方が介在物浮上分離に有利であることを示している。図4に単孔および多孔の浸漬ノズルを用いて铸込んだ300×400mmサイズ铸片の介在物分布を示した。

注入流の影響が铸片の深部まで及ばない多孔ノズルでは介在物量は単孔ノズルの $\frac{1}{10}$ に減少していた。

これらの結果はいずれも湾曲型連铸機では介在物量が铸込み時の溶鋼流動の影響を強く受けていることを示している。そこで铸込み時の溶鋼流速 v_d (cm/sec)、介在物の浮上速度 v_i (cm/sec)および溶鋼中の径がd以上の介在物数N(個/cm)をそれぞれ(1)~(3)式で表わせるとして、介在物が湾曲型ブル

表1 铸造鋼種一覧⁽¹⁾⁽²⁾

棒	鋼	一般棒鋼, 磨棒鋼, 合金鋼 硫黄快削鋼, コールドヘッダー用鋼, 機械構造用鋼
線	材	軟鋼線, 硬鋼線, ピアノ線 タイヤコード用線, 溶接棒 P, Sコンクリート用線
形	鋼	H形鋼(一般, 高張力鋼) 耐海水性鋼, 鋼矢板
継目無	管	一般管, 油井管, ボイラー管, ラインパイプ, 機械構造用管

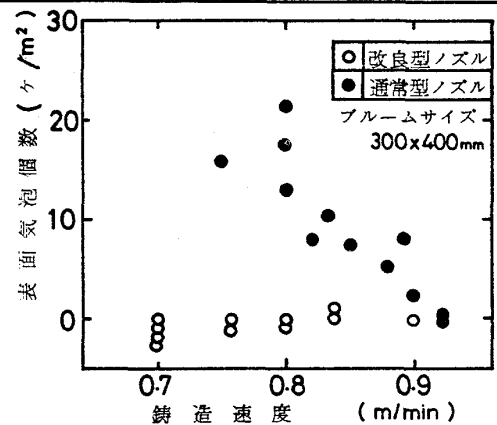


図1 浸漬ノズルの種類と表面気泡の関係

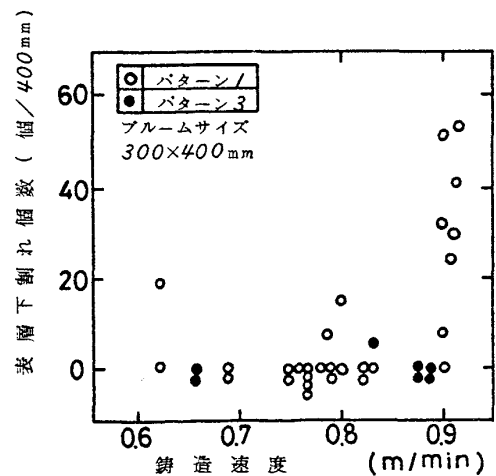


図2 表層下割れにおよぼす2次冷却水パターンの影響

一ム連鑄において、鑄片上面側に捕捉されるモデルを考えた。

$$\psi_e = \alpha \exp(-\beta l) \quad \text{----- (1)}$$

$$\psi_c = 300 d^{3/2} \quad \text{----- (2)}$$

$$N = N_0 \exp(-\gamma d) \quad \text{----- (3)}$$

ここで l は湯面からの距離 (cm), d は介在物の直径 (cm), α, β, γ および N_0 は定数である。

凝固シエルに捕捉される介在物量は凝固前面における溶鋼中の介在物数と凝固シエルに向かう介在物速度の積に比例すると考えれば鑄片厚み δ (cm) の位置での単位厚み当りの介在物個数は(4)式の m に比例する

$$m = 2 \alpha \psi_c N_0 \left(\frac{\delta - \delta}{k^2} \right) \left[1 - \exp \left\{ -\gamma (d_{\max} - d_{\min}) \right\} \right] \times \exp(-\beta l) \cdot \tan \theta_i \quad \text{----- (4)}$$

ここで $d_{\max}$ は湯面から l の距離に存在する介在物の最大径 (cm), $d_{\min}$ は対象とする介在物の最小径 (cm), θ_i は凝固面の接線と垂線とのなす角度であり、 ψ_c は鑄込み速度 (cm/sec) K (cm/sec^{1/2}), δ (cm) はそれぞれ凝固式の係数である。

図3, 4の実線は水モデル実験および鋼中の介在物の粒度分布から α, β, γ などの定数項を求め(4)式によつて計算した結果であり、実験値と良く一致している。図5は400×560mm断面サイズの鑄片について鑄造速度と鑄込み速度との関係を示したものである。(4)式から鑄片内に捕捉される介在物数は鑄込み速度および溶鋼流速に比例するが図3～5からわかるように変動幅は後者の方が大きい。大断面ブルームで介在物が減少しているのは鑄込み速度の外に注入流減衰効果が大きいと考えられる。

3.2 等軸晶率におよぼす溶鋼流動の影響

鑄片の中心偏析を減少させるためには等軸晶率を大きくすることが効果的である。S45C鑄片の柱状晶長さおよび等軸晶率とブルームサイズとの関係を図6に示した。柱状晶の長さはブルームサイズによつてあまり変わらないので、等軸晶率は、大断面ブルームほど大きく、この点においても大断面による鑄造は有利と言える。

モールド内溶鋼流動は鑄片の凝固組織にも影響をおよぼす。図7に等軸晶率とタンデイスユ内溶鋼過熱度 (ΔT) の関係を示した。単孔浸漬ノズルを使用したものは ΔT の増加につれて等軸晶率が減少するのに対し、多孔ノズル材は ΔT が40℃とかなり高温でも30%以上の上面側等軸晶率を示しており、中心偏析の少ない鑄片が得られている。⁽³⁾

単孔ノズルと多孔ノズルではモールド内の溶鋼流動が異なるため凝固シエルの生成にも差があらわれる。S添加法によつて調

表2 表面欠陥とその対策

欠 陥	対 策
縦 割 れ	最適モールドパウダーの採用 2次冷却における緩冷却パターンの採用
ひ び 割 れ	モールドコーティングの実施 モールドスプレーの弱固化
表 面 気 泡	一体気密浸漬ノズルの採用 吹込ガスの選定と流量規制
表層下割れ	2次冷却パターンの最適化 モールド内冷却の強化

表3 内部欠陥とその対策

欠 陥	対 策
内 部 割 れ	充分な長さの鑄片支持ロール採用 小ロールピッチローラーエプロンの採用、鑄片の2点矯正
中心偏析	多孔ノズル、低硫化 低温鑄造、大断面化
介 在 物	取鍋-タンデイスユ間シールの実施 タンデイスユ堰の改良 ガス吹込み式アルミナ・黒鉛質 一体ノズルの採用

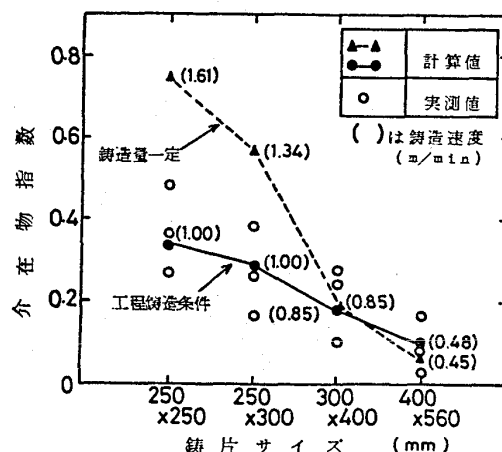


図3 介在物量におよぼす鑄片サイズの影響

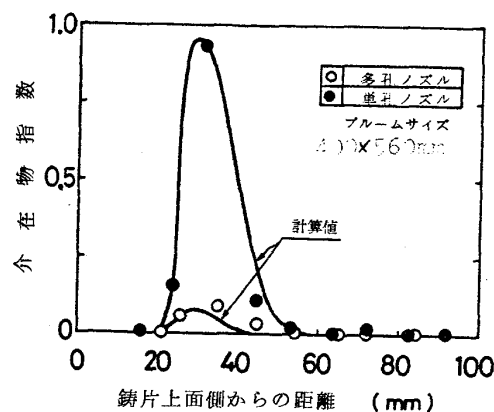


図4 鑄片上面側における介在物分布

査したモールド出口でのシエル厚みは単孔ノズルのものより多孔ノズルの方が薄く、またモールド抜熱量は多孔ノズルの方が多かった。これらの値を用いてモールド出口部における平均溶鋼過熱度を計算しその結果を図8に示した。単孔・多孔いずれもタンディシユ内の溶鋼過熱度は25℃であつたが、モールド出口における溶鋼の平均過熱度は前者が20℃であるのに対し後者では過冷却の状態になつていたと推定された。すなわち多孔ノズルを使用した場合にはモールド内で溶鋼過熱度がほとんど消失してしまうため鑄片の等軸晶率はタンディシユ内 ΔT の影響をほとんど受けなかつたものと考えられる。

このようにモールド内溶鋼流動は、介在物、凝固組織のいずれに対しても影響が大きいことが明らかであるが、これを決める最大の因子は浸漬ノズルの形状である。モールドサイズ、鋼種に合った多孔ノズルの形状について検討を進め、現在ではすべてのモールドサイズについて多孔ノズルを使用することが可能となつた。

4. ビームブランクの品質向上

4.1 ビームブランク鑄片の主要な欠陥と対策

単一のビームブランクサイズ(400×460×1200mm)からH250×250mm~H500×300mmまでの広範囲な製品サイズを製造しており、また鑄造鋼種も40キロ鋼、高張力鋼、耐海水性鋼と多岐に亘っている。ビームブランクはその形状が複雑なために、ウェブ部に縦割れを生じやすい⁽⁵⁾。割れ部の観察結果より起点はモールド内にあることが判明しており、図9に示したようにモールド冷却水量の分布を変更することにより、ウェブ縦割れは減少した。その他、主な欠陥とその防止策を表4に示した。

4.2 ウェブ縦割れにおよぼすモールドテーパの影響

表4に示した各種の対策により、ウェブ縦割れは大巾に減少したが、割れ感受性の高い含Nb高Mn鋼においては、満足すべき状態には至つていなかった。そこでウェブ部凝固シエルの発達を促進させる目的から、モールドのウェブ部に0.7%のテーパを設けた。

S添加法により、凝固シエルの発達状況を観察した結果を、図10に示した。テーパの設定により、約2mmの凝固シエル増加が認められ、その結果表5に示したようにウェブ縦割れ発生は大巾に減少した。現在99%以上の鑄片は無手入で圧延され、そのうち70%以上はホットチャージされている。

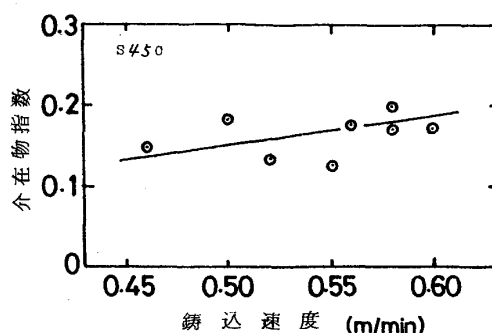


図5 鑄込速度と介在物量の関係

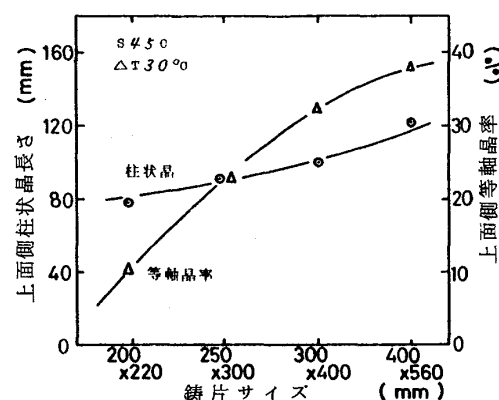


図6 柱状晶長さおよび等軸晶率と鑄片サイズの関係

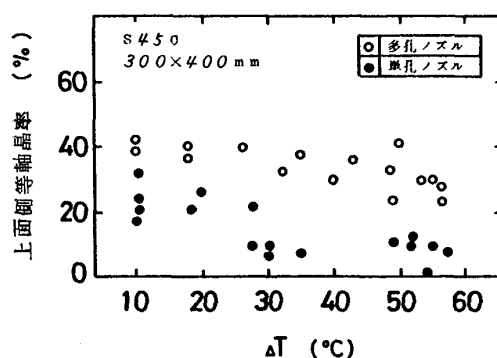


図7 鑄片上面側等軸晶率と溶鋼過熱度の関係

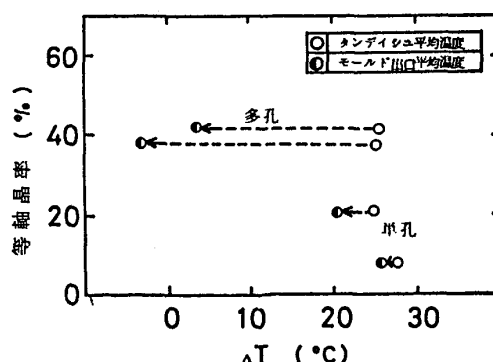


図8 タンディシユおよびモールド出口の溶鋼過熱度と等軸晶率の関係

5. ま と め

大断面ブルーム

- 1) 各種の欠陥防止策の確立により、高級線棒、継目無鋼管の連鑄化が達成され、とくに継目無鋼管用素材はその99%以上を連鑄により鑄造している。
- 2) その結果、条鋼向素材について85%以上の連鑄比率が達成され、また無手入ホットチャージ体制が確立されている。
- 3) 260φまでの棒鋼および外径16インチまでの継目無鋼管の連鑄化が達成された。
- 4) 単孔浸漬ノズルに代えて多孔ノズルを使用すると介在物減少と等軸晶率の増大が著しい。等軸晶の増大は鑄型抜熱量の増加、凝固シエル成長の遅れによりモールド出口での平均溶鋼温度が低下することにより起因すると考えられる。
- 5) 小断面に比較して大断面モールドは、介在物の減少、等軸晶率の増大に関して有利である。これは鑄造速度が低いことのほかに、溶鋼流下降速度の減衰が著しいためと考えられる。

ビームブランク

- 6) 各種の欠陥防止策の確立により、99%以上の無手入圧延と70%以上のホットチャージ体制が確立している。
- 7) モールドのウェブ部にテーパを設けることにより、シエルの均一凝固が促進され、含Nb高Mn鋼などの鋼種でウェブ部縦割れが減少した。

参考文献

- (1) Y.Iida and H.Ooi ; "Continuous casting of High Quality steels for Bars, Wire Rods and Seamless Tubes."
- (2) H.Ooi and Y.Iida ; Iron and Steel International. 52(1979)3, P.135
- (3) 新庄, 岡野, 松野 ; 鉄と鋼 65(1979)4, S236
- (4) 人見, 阿久根 ; 鉄と鋼 62(1976)11, S602
- (5) 野崎, 村田, 大井 ; 鉄と鋼 60(1974)11, S462
- (6) 野崎, 伊丹, 村田 ; 川崎製鉄技報 9(1977)3, 4 P.11

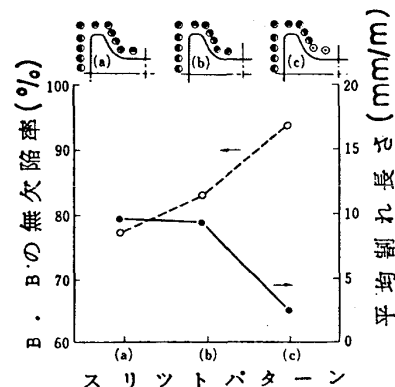


図9 ウェブ縦割れにおよぼすモールド冷却水スリットの効果⁽⁶⁾

表4 ビームブランク鑄片の主要欠陥と対策⁽⁵⁾⁽⁶⁾

欠 陥	対 策
ウェブ表面縦割れ	最適モールドパウダーの採用 オキシレーション横振れ減少策 モールド冷却水分布のウェブ部の高密度化 モールド冷却の弱冷化 2次冷却水の頭部弱冷化
フランジ表面縦割れ	モールドシーム部のギャップ管理 モールド締付力の強化
ウェブ断面割れ	ローラエプロンのキャビティー管理 2次冷却水パターンのウェブ部高密度化
フランジチップ断面割れ	2次冷却水パターンのウェブ部高密度化 鋼中Sの低減

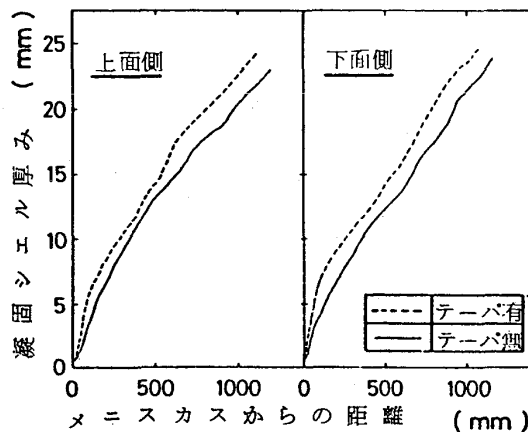


図10 ウェブ部凝固シエル厚みにおよぼすモールドテーパの効果

表5 モールドテーパと鑄片ウェブ縦割れ発生率

モールドテーパ	鑄片ウェブ縦割れ発生率 (%)	
	40キロ鋼	含Nb高Mn鋼
無	0.02	1.33
有	0.01	0.51