

ステンレス鋼用水平連鑄機の操業と鑄片品質

Operation and Quality of Horizontal Continuous Caster for Stainless Steel

新日本製鉄(株) 光製鉄所 松村 省吾*・岩崎 央・小菅 俊洋
 井上 雅之・中島 啓之
 光技術研究部 竹内 英磨
 設備技術センター 久保田 守彦
 川崎重工業(株)産機プラント事業部 金子 英夫

1. 緒 言

新日本製鉄(株)光製鉄所では体質強化対策の一環として平成元年12月に水平連鑄機(川崎重工(株)製)を導入した。水平連鑄機の選定理由は低溶鋼一定静圧鑄造、無注水冷却及びパウダース鑄造が可能であるため高合金鋼を含むステンレス鋼の鑄造に適すること及び低建設コスト等にある。導入にあたっては、無潤滑・間欠引抜方式による安定鑄造性及び良好な鑄片表面性状を確実に達成するために新たな設備改善と操業技術の開発を行った。線材向けステンレス鋼角ブームの立上げ後、平成2年から熱間押出鋼管向け丸ブームの操業も開始し、いずれも順調に稼動中である。本報告は当所の水平連鑄機の概要、操業及び鑄片品質について報告する。

2. 水平連鑄機設備

2.1 水平連鑄設備の位置づけ

Fig.1に当所の生産工程を示す。従来、スラブ連鑄機(No.1CCM)とブルーム連鑄機(No.2CCM)を保有していたが、今回、水平連鑄機(No.3CCM)を導入することによりブルームの製造体制を強化した。

2.2 レイアウト及び設備仕様

Fig.2に設備レイアウト及びTable 1に設備仕様を示す。本設備はタンディッシュ内容鋼加熱装置、モールド電磁攪拌、高精度引抜装置及び自動鑄造制御システムを採用したことを特徴とする。

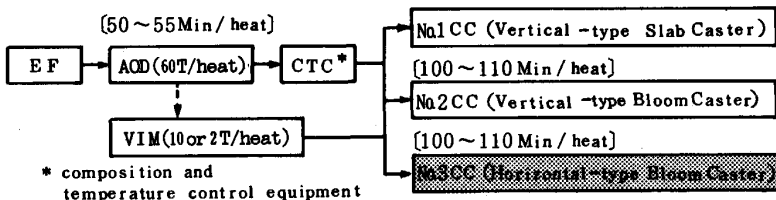


Fig.1 Material Flow of Steelmaking Plant at Hikari Works.

Table 1 Main Specifications of Horizontal Continuous Caster at Hikari Works.

• Ladle Capacity	: 60 tons
• Tundish Capacity	: 10 tons
• Number of Strands	: 2
• Casting Range	: Section : 150 mm sq. 315 mm sq. 150 mm dia. 170 mm dia.
	: Length : 4,400 ~ 12,700 mm
• Plant Length	: Overall Length : 55,000 mm : Mold to Cutter : 21,000 mm : Pass Line : FL+1,000 mm : Strand Spacing : 1,500 mm
• Mold	: 1st zone : Be-Cu : 2nd zone : Graphite Plate (Adjustable type)
• Withdrawal Device	: Number of Pinch Rolls : 2 Pairs : Roll Drive Unit : AC Servomotor
• Cutting Device	: Powder-Gas Torch
• Auxiliary Equipment	: Tundish Induction Heater : Tundish Level Detector (Electromagnetic type) : EMS in Mold : EMS in Strand

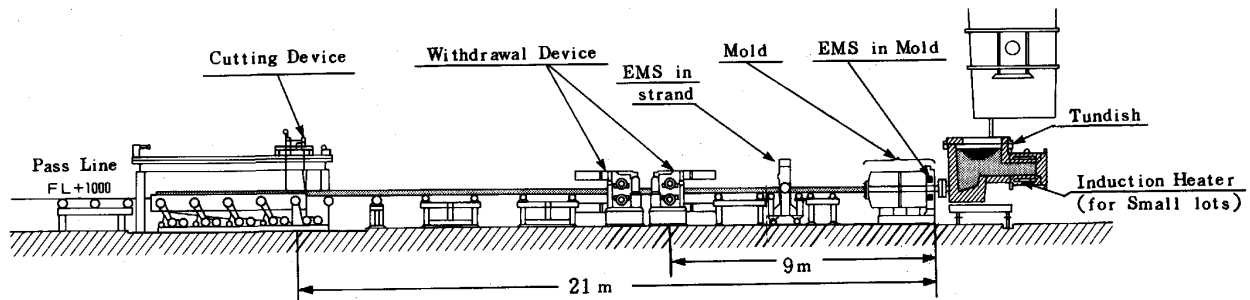


Fig.2 Schematic view of Horizontal Continuous Caster at Hikari Works.

平成 3年11月 7日受付 (Received Nov. 7, 1991)

* Shougo Matsumura (Hikari Works, Nippon Steel Corp., 3434 Oaza-Shimata Hikari 743)

Fig.3にモールド構造を示す。タイプは Technica-Guss方式を採用した。モールドは Cu部長さ260mmとグラファイト部長さ800mm × 2段の緩冷却構造とし、Cu部以降は無注水冷却である。グラファイト部には鋳片の熱収縮に追従して均一冷却を行うために油圧によるアジャスタブル機能を持たせた。

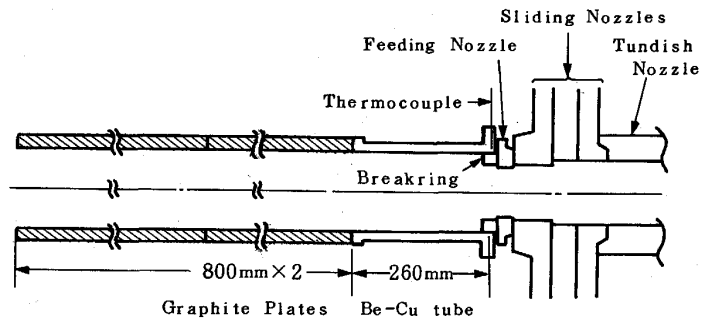


Fig.3 Schematics of Nozzle and Mold.

3. 水平連鑄操業改善と品質

3.1 水平連続鑄造の操業概要

水平連鑄機を導入後、オーステナイト系、フェライト系及びマルテンサイト系の各種ステンレス鋼の鑄造性を確認した。特にオーステナイト系ではSUS304をベースに、Mo, Ti, Nb, Cu, Al添加鋼及び高合金鋼種を確性した。現在、線材向けブルームを3,000~5,000t/M、熱間押出鋼管向けブルームを400~600t/Mと全ブルーム生産量の約半量を本連鑄機により生産している。

立ち上げ後、種々の鑄造技術を確立した結果、400分の長時間鑄造性を確認し、現在最大連々鑄比で4.0Chs/TD(平均2.6Chs/TD)と安定した操業を行っている。以下にその主な操業技術及び品質改善技術について述べる。

3.2 鑄造安定化技術

3.2.1 ブレークリング(BR)技術改善

水平連鑄法ではBRにより凝固開始位置を安定に制御しており、その材質改善及び使用法は鋳片の品質及び安定操業のために重要な技術である。

(1) ブレークリング(BR)材質の改善

BRの溶損速度、鋳片皮下気泡は鑄造鋼種(脱酸方法)によって異なる。Fig.4にBR溶損速度、気泡発生量とBR材質の関係を示す。Si脱酸鋼種ではA, B材質とも溶損速度はほぼ同程度であるが、B材質に皮下気泡が発生した。Al脱酸鋼種ではA材質の溶損がB材質に比較して2倍以上大きい。この原因は①バインダー中のCaOのAl₂O₃との反応による強度低下、あるいは②BNのAlによる還元が考えられる。

従って、鑄造鋼種に適応したBR材質の使い分けを行っている。

(2) ブレークリング(BR)の安定性改善

角ブルームではPhoto 1に示す様にBRのコーナー部に選択的な溶損が発生し易い。その原因は、BRのモールド圧入反力がコーナー起点に応力集中して欠損するためと考えられる。その対策としてはBRの加工精度の向上とBRの挿入圧力の緩和を行った。また丸ブルームは局所溶損がなく良好であった。その理由はモールドへの反力が均一化されるためと考えられる。

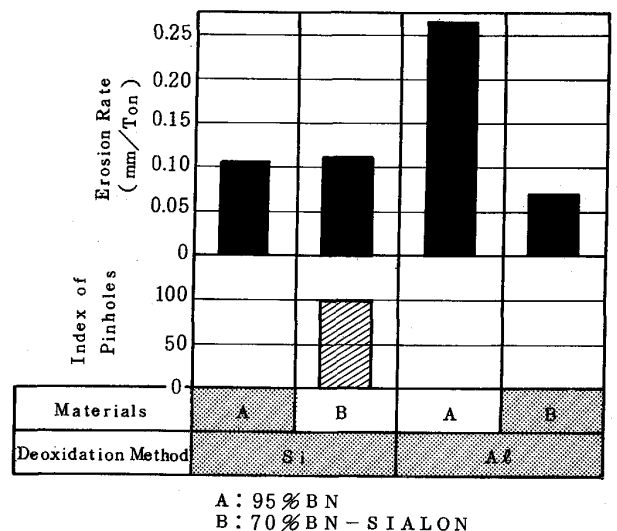


Fig.4 Effects of Breakring Material on Breaking Erosion and Pinholes of Bloom Surface.

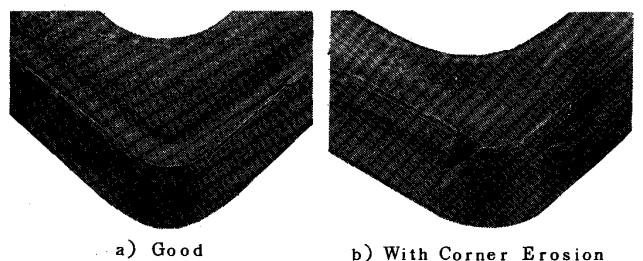


Photo 1 Surface Appearance of Breaking.

3.2.2 自動鑄造制御システムの開発

水平連続（湯面下凝固）鑄造法では、モールド内への溶鋼流入と鑄造スタート時期及び鑄造中の凝固状態を正しく把握して引抜を行うことが安定操業に重要である。そこで、CuモールドのBR近傍に設置した熱電対（4点）によりモールド内への溶鋼の流入検知・自動スタートと自動昇速を行っている。Fig.5にスタート時のモールド温度推移を示す。さらに鑄造中のモールド温度の移動平均値とその変動量よりブレークアウトを予知し自動修復するシステム（Restoration System）を開発し安定した操業が可能となった。

3.3 鑄片品質の改善

3.3.1 コールドシャットクラック(CSC)、 ホットテア(HT)の防止技術

(1) CSCの生成機構と防止技術

BRを用いて初期凝固位置を制御する湯面下間欠引抜方式ではCSC及びHTが発生し、その発生防止は品質面から特に重要である。CSCの発生機構は従来から報告¹⁾²⁾³⁾されている様に、BRとモールドの接する三重点部で過冷された旧シェルと新シェルとの溶着不良である。その防止には高サイクル引抜が必要である。

(2) HTの生成機構と防止技術

① HTの生成機構の解明

HTの生成機構を調査するために低融点合金（Pb-Sn系）を用いた1/1規模のシミュレーションモデルを製作して初期凝固部の可視化実験⁴⁾と二次元熱伝導計算を行った。Fig.6にモデル実験と熱伝導計算より得られた初期凝固シェルの生成挙動を示す。モデル実験にて引抜過程にBR側から成長するシェルと旧シェル側から成長するシェルの境界部（ホットスポット点）が移動し、HTはこのホットスポット点に発生することが確認できた。また、伝熱計算より得られた凝固プロフィールはモデル実験と良く一致した。この初期凝固シェルの不均一性とシェル強度の不足がHT発生の主要因であると考えられる。

② HTの防止要因の解析

前述の実験により引抜サイクル、ストロークを一定にした時のHT深さに及ぼす間欠引抜パターンの要因を調査した。Fig.7に示すように低融点合金とステンレス鋼は熱的物性値が異なるために寄与率が異なるが、HTの防止因子としていずれも静止時間の確保が重要であることが判明した。これは前述したHTの生成機構から見ると静止時間の確保によりシェル強度が増加したことによると推察できる。

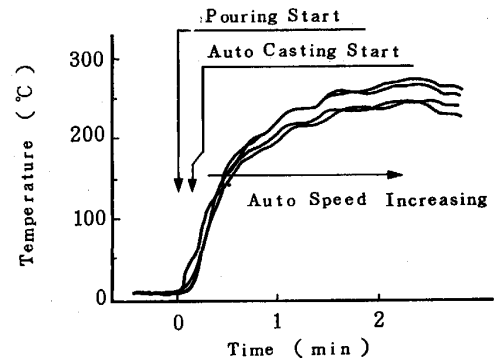
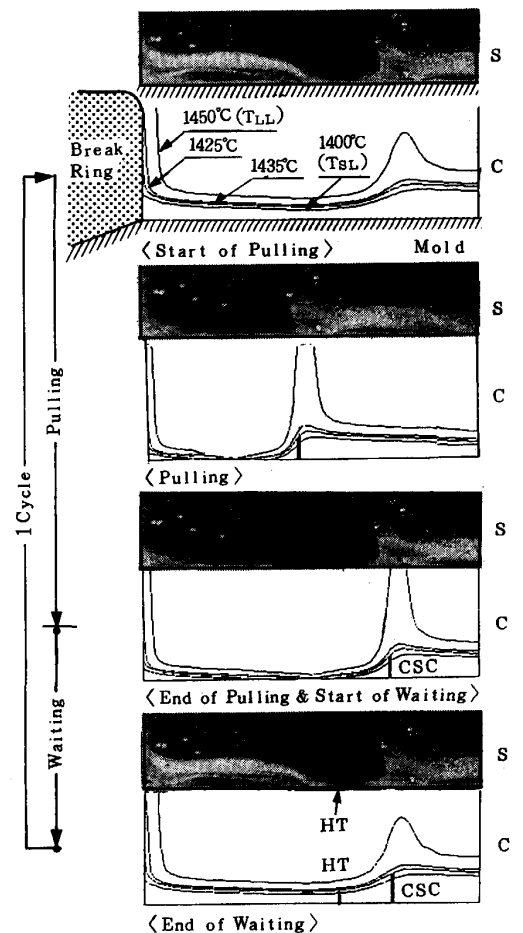


Fig.5 Example of Mold Temperature Change at Casting Start.



S: Solidification of Low Melting Temperature Alloy

C: Calculated Temperature Distribution

Fig.6 Formation of Cold Shut Crack and Hot Tear.

(3) CSC, HT 防止試験結果

以上の解析から、CSCの防止には1サイクル時間の短縮、HTの防止には静止時間の確保が必要である。この反する条件を、両者共に安定して防止するには、短サイクル時間(0.3~0.6sec)内での間欠引抜パターンの選定が重要であると考えられる。Fig.8にFig.7より得られた条件を適用した角ブルームのCSC, HTの深さ別発生頻度を示す。鑄片面部及びコーナ部共にCSC, HTの発生を抑制することが可能になった。丸ブルーム及びその他高合金鋼においても同様の効果を得ている。

3.3.2 内部品質の改善

(1) 鑄造組織の改善

Photo 2にC断面鑄造組織を示す。水平連鑄鑄片の最終凝固位置は上方向に偏芯しやすい⁵⁾。そこで、本設備にモールド内、ストランド内電磁攪拌装置を設置し適用した結果、特に偏芯防止の必要な熱間押出鋼管向け丸ブルームにおいて偏芯量は0.8mm程度に抑制されている。また結果として、中心部キャビティも20~30%低減した。

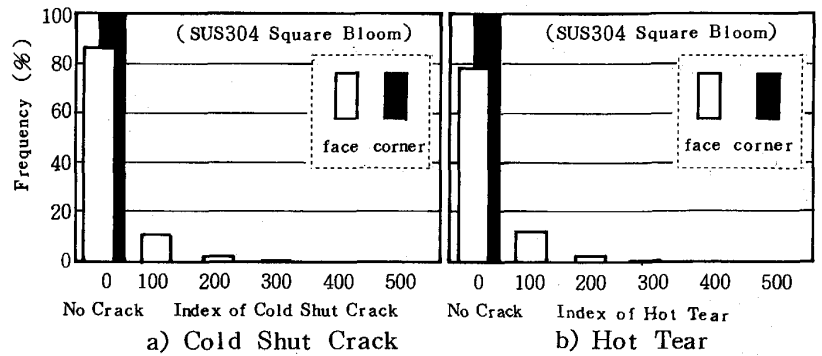
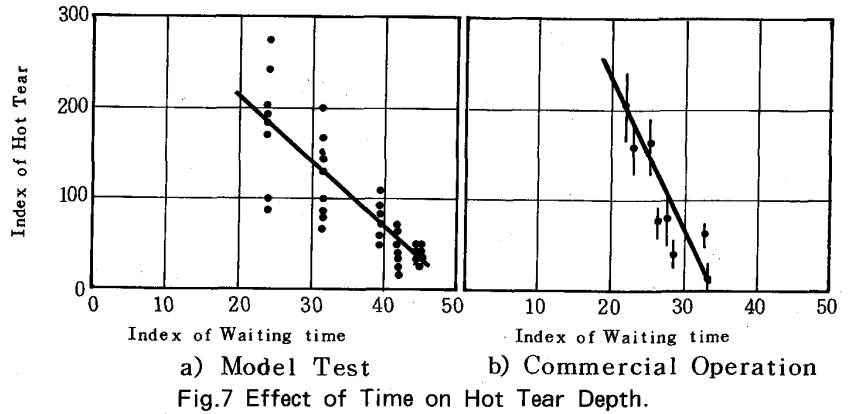


Fig.8 Distribution of Cold Shut Crack and Hot Tear.

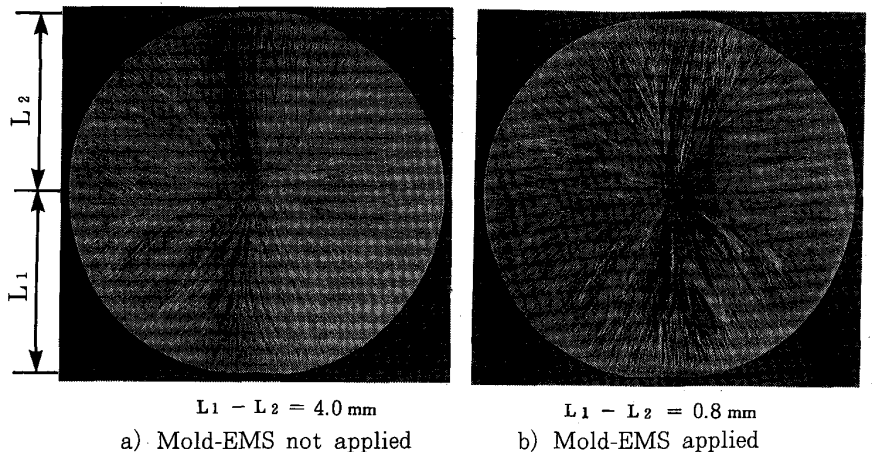


Photo 2 Effects of Macrostructure of Cross Section on Mold-EMS.

4. 結 言

光製鐵所に体質強化対策の一環として水平連鑄機を導入して、鑄造安定化技術の開発を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1)ブレーキングは鑄造鋼種により溶損速度が異なり、気泡欠陥が発生することが明らかになった。安定鑄造のためには鑄造鋼種に適した材質の選定とモールドへのセット法が重要である。
- (2)低融点合金を用いた凝固状態の可視化実験によりCSC, HTの生成機構を把握した。さらにHTの防止要因として引抜パターンにおける静止時間の確保が必要であることを明らかにした。
- (3)モールド内とストランド電磁攪拌の併用により凝固組織の改善が可能であることを確認した。

参考文献

1) H.A.Krall: Metallurgical Plant and Technology 4(1985),P40 2) A.Kudon: STEEL & METALS Magazine, 26(1988)4,P332
 3) 宮原ら: 日本鋼管技報, 93(1982), P135 4) 松島ら: 材料とプロセス 4(1991), S300 5) 例えば田中ら: 鉄と鋼, 71(1985)7, P865