

## 討 8 加古川スラブ連铸における表面品質改善とHCRの増大

神戸製鋼 加古川製鉄所 喜多村実 副島利行  
 小山伸二 松田義弘  
 ○安封淳治 秋泉清春

### 1. 緒 言

当社加古川製鉄所のウォーキングバー・カービリニア（以下W.B.-C.Lと略す）方式スラブ連铸機は設備改造および操業技術の改善により、生産能力が15万トン/月へ倍増し、現在、厚板向スラブの80%、薄板向スラブの40%を製造するに至っている。またスラブ品質の向上・安定により、マシンカーフがかなり省略され、無手入圧延実施率は厚板向で80%、薄板向で50%に達している。この無手入圧延のための操業技術の改善は、第2ステップである圧延加熱炉への直送（以下HCRと称す）を可能とし、省エネルギーのうえで大きな効果をあげている。

本報告は、HCRを可能とした操業技術の改善経過とその効果についてまとめたものである。

### 2. 設備および操業の概要

連铸機の設備仕様と操業の概要を第1表に示す。

また本機の特徴をつぎに示す。

- 1) 铸型下に設けられたW.B.は铸片の引抜きと冷却能を備えており、ロールに比較して凝固シェル薄い铸片のバルジング防止および急冷による熱応力の発生防止に優れている。
- 2) 铸片の矯正には低ひずみ連続矯正(C.L.)法を採用して、铸片にかかる矯正応力を可及的小くしている。
- 3) ロールピッチが短かくかつ剛性の高いセグメントロールを採用し、铸片のロール間バルジング量を小さく抑えている。
- 4) 铸型は長さ1.2mの湾曲形ロングモールドで、抽出熱量が大きく、铸型内での凝固シェルを厚くできるので铸片の断面形状が安定している。また、組立铸型の銅壁の下端コーナー部を切欠いたオープンコーナー铸型の採用により、この部分から铸片のコーナー部にスプレー冷却を加えて铸型出口での凝固シェル厚さを均一にしている。

以上の本連铸機の特徴を生かしつつ、さらに生産能力およびスラブ品質の向上をはかるために、概略つぎのような設備改造および周辺諸技術の開発を行ってきた。

- ① W.B.の剛性の向上およびW.B.のクランプカムプロファイルの改良により铸型内湯面変動を減少させた。
- ② W.B.通過後のロール帯（従来、スプレー冷却なし）での復熱に伴うバルジングや熱応力により内部割れや表面横小割れが発生しやすいたことが判明したので、ロール帯15mに2次冷却スプレーゾー

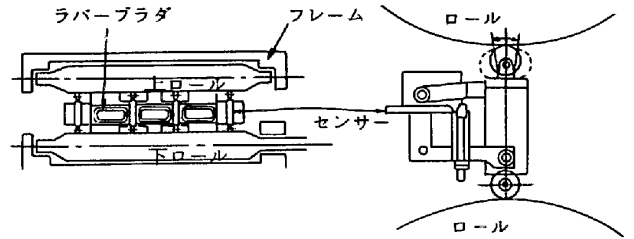
第1表 主なる設備仕様および操業条件

型 式	W.B.-C.L.型
タンディッシュ容量	18トン
铸 型	湾曲铸型 長さ: 1.2 m 下部オープンコーナ採用
機 長	円弧部: 9.2 m (曲率10 m) 矯正部: 10.8 m 水平部: 8.4 m トータル: 28.4 m
2次冷却帯範囲	メニスカス下1~20 m (W.B.部4 m含む)
セグメントロール 使用範囲	メニスカス下5~20 m (矯正ロールピッチ400 mm)
スラブサイズ	厚板向 250×1,900 mm 230×1,600 230×1,250 薄板向 230×1,600
铸 造 速 度	250 mm厚: 0.7~0.9 m/min 230 mm厚: 0.9~1.4 m/min
比 水 量	0.7~1.0 ℓ / kg · steelℓ
2次冷却帯出口温度	860~940 °C

ンを設けた。(1)

③ロールアライメント不整や誤まった隙間設定は内部割れや中心偏析、または軸心割れを誘起し、HCR実施に当たって大きな障害となる。そこで、ダミーバーの押上げ膨張力を利用し、負荷がかかった状態でロール隙間が測定できるダミーバー方式ロール隙間測定装置を開発し、内部品質の向上・安定化を図るために実用化している。(2)

④一部高級鋼については低硫化・Ca処理を実施し、等軸晶率を増大することにより中心偏析を軽減している。(3)



第1図 ダミーバー方式ロール隙間測定装置

### 3. スラブ表面品質の向上対策

HCR実施のためには、スラブ表面性状を向上させ無手入圧延実施率の拡大を図ることがまず必要である。従来、スラブの無手入化を妨げてきた表面欠陥としては、厚板材においてはノロかみ、縦割れ、横小割れ、表層下割れ、薄板材の主力鋼種である低炭Alキルド鋼においてはノロかみ、表層部アルミナクラスタがある。以下に、これら表面欠陥の発生防止策について述べる。

#### 3.1. 厚板向スラブにおけるノロかみ、縦割れ防止策

ノロかみの原因は、介在物と耐火物起因の二つに大別される。介在物系ノロかみは脱酸または二次酸化により生じた鋼中の $Al_2O_3$ がフラックスに溶けきらず、 $Al_2O_3$ の富化したフラックスをバインダーとし凝集したものであり、耐火物系ノロかみは、タンディッシュのストッパーヘッドおよびノズルに用いられているジルコン質の耐火物が欠け落ち、フラックスをバインダーとして凝集したものである。フラックスそのものに起因するノロかみはほとんどなく、タンディッシュ・コーティング材起因のノロかみも認められない。

縦割れは、2次冷却帯での冷却の不均一、鑄片矯正時の歪などの原因によっても発生するが、フラックスに起因する縦割れも多い。すなわちフラックスの粘度が低すぎたり、滓化が速すぎると、熔融フラックスが不均一流入を起し、凝固シェルの生成が不均一となるために縦割れは発生しやすくなる。

ノロかみに対する対策はフラックスの融点を下げて $Al_2O_3$ 吸収能を増すことであり、縦割れに対しては粘度を増し、滓化を遅くすることであるが、これら2つの表面欠陥の対策はおたがいに相反する関係にあるため、その調整が肝要である。

40<sup>k</sup>Siキルド鋼を対象に無手入圧延用フラックスを見出すべく実機テストを行なった。供試フラックスの物性値を第2表に、テスト結果を第2図に示す。スラブの表面欠陥はマシンスカーフ後に調査したものである。

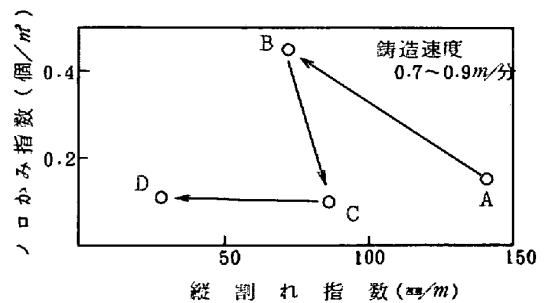
第2表 フラックス供試材の物性値

銘柄	塩基度 (CaO/SiO <sub>2</sub> )	軟化点 (°C)		粘性 at 1300°C (poise)	溶解速度 at 1300°C (sec)
		生フラックス	$Al_2O_3$ 20%添加		
A	0.89	1120	1160	8.3	20
B	0.79	1150	1180	14.4	23
C	0.83	1150	1170	11.0	20
D	0.79	1150	1160	14.0	14

この結果、 $Al_2O_3$ などの酸化物を吸収しても熔融スラグの特性があまり変化しない初期組成とともに縦割れ発生防止に有利な粘性値を有するフラックスDを無手入圧延用フラックスとして使用している。

#### 3.2. 厚板向スラブにおける横小割れ、表層下割れ防止策

Al細粒鋼および含Nb鋼で顕著に認められるスラブ表層部の微細な割れは、鑄肌では目視困難であり、且つマシンスカーフ後でも認められずに表皮下に存在する場合があります、非常に



第2図 厚板40<sup>k</sup>鋼用フラックステスト結果

有害である。

横小割れの発生は2次冷却条件と強く相関があり、2次冷却帯出口温度が800~920°Cの範囲では割れは殆んど認められない。(第3図)しかし、この温度範囲でも2次冷却帯で冷却-復熱があれば割れが発生することがある。これは、2次冷却帯では $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ 変態をくり返している間に $AlN$ ,  $Nb(C,N)$ が析出し、脆化した粒界より矯正応力により割れが発生するものと推測される。(4) なお、スラブ表面温度が800°C以下になると割れの発生が認められるが、これは( $\alpha+\gamma$ )の二相状態での矯正となるためと思われる。従って、矯正帯を通過するときの表面温度は $\gamma$ 温度域に維持する必要があるが、920°C以上になると再び割れの発生が認められる。これは $\gamma$ 結晶粒が粗大化し、矯正応力に抗する粒界の面積が少なくなるためと思われる。

表層下割れは、(5)横小割れとは発生形態が異なり、湾曲型連铸機でのスラブ上下面の表皮下から深さ方向30mm前後にかけて発生する割れであり、常に、スラブ断面マクロ組織において過冷却パターンを伴って発生している。したがって、変態点からの復熱によって生ずる熱応力および変態応力がスラブの脆化域に作用して割れが発生するものと推測される。

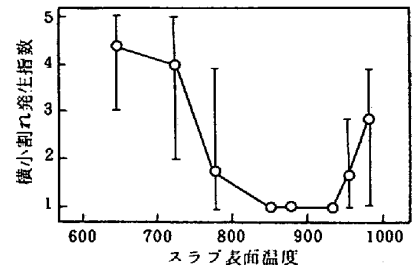
以上の発生機構から、二次冷却帯でのスラブ表面温度をできるだけ復熱させず、かつ出口温度が850~900°Cの間に保持できる冷却パターン(第4図)を採用し、これら割れの発生を大幅に軽減している。

### 3.3. 薄板向低炭 $Al$ キルド鋼における表面品質向上対策

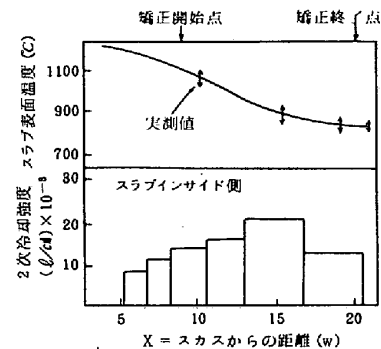
スラブ表面のノロかみ、表層近くの介在物は、冷延鋼板においてはヘゲ疵もしくはスリバー疵となって現われる。この主因はスラブ表皮下の $Al_2O_3$ クラスターであり、無手入圧延の可否は最終的にこの肌下 $Al_2O_3$ クラスターをいかにして減少させるかによる。

この $Al_2O_3$ を低減する手段として、取鍋-タンディッシュ間のシール、タンディッシュ堰耐火物、タンディッシュ内コーティング材、タンディッシュノズルからの $Ar$ ガス吹込み、フラックスそしてRH脱ガス処理条件の改善等を行い、スラブ表層部でのクラスターの捕捉を極力減少させかつ粒径を小さくすることを可能にした。第5図に、通常の転炉-RH脱ガス-連铸工程により製造した従来材(A材)、RH工程で真空度を上げるとともに処理時間を延長した対策材(B材)、さらにタンディッシュの堰およびコーティング材に $Al_2O_3$ を使用した対策材(C材)でのスラブインサイド側皮下の酸素量を示す。また第6図に酸抽出る別法による $Al_2O_3$ 系介在物量調査結果を示す。酸素量と介在物量は同様の順位である。とくにC材では $t/16$ 位置で他の材料よりも著しく低い値を示している。

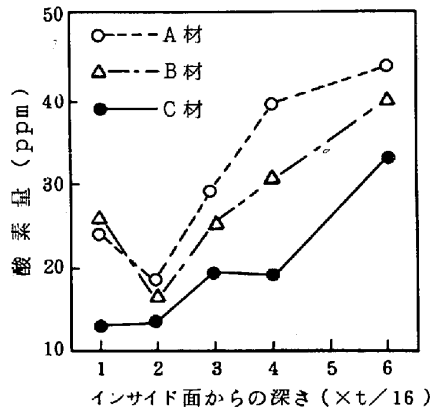
フラックスは初期 $Al_2O_3$ 濃度が低いほど $Al_2O_3$ 吸収能は大きくなるが、むしろ溶融温度の上昇をまねき、



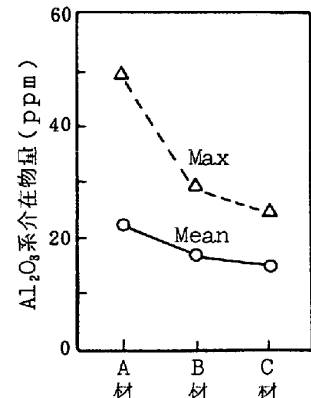
第3図 2次冷却帯スラブ表面温度と横小割れ発生指数の関係 (APIX-70)



第4図 2次冷却パターンとスラブ表面温度推移 (APIX-70)



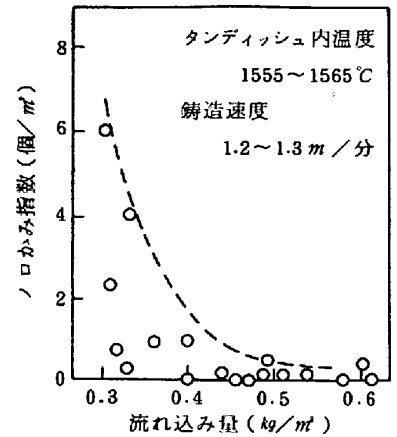
第5図 酸素量の比較



第6図  $Al_2O_3$ 系介在物量の比較

フラックスの消費量が減少して全体として吸収される $Al_2O_3$ 系介在物量が少なくなる。したがって、初期 $Al_2O_3$ 濃度を下げるとともに、熔融フラックスの更新を早めるために、オキシレーション条件のうち、振幅を小さくし、フラックス消費量を増加させた。第7図にフラックス消費量とノロカミ指数との関係を示す。

以上に述べた調査結果より、自動車外板用冷延鋼板をはじめとする低炭 $Al$ キルド鋼の casting に際しては、これら諸対策を実施するとともに、転炉スラグ中の $T \cdot Fe$ 、取鍋- casting 間での溶鋼中の $Al$ 減少量( $\Delta Al$ )の管理を併せて行うことにより、当鋼種の50%を無手入圧延している。

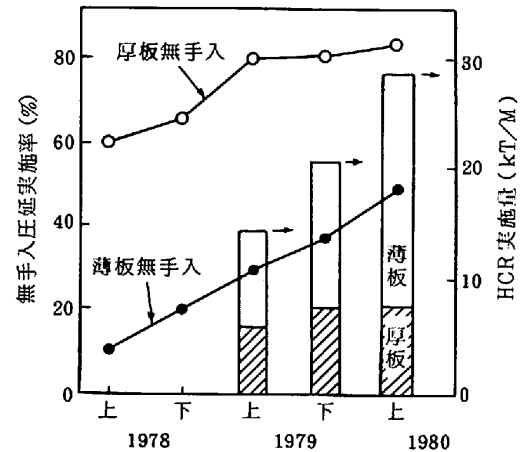


第7図 フラックス流れ込み量とノロカミの関係

4. HCRの現状

3項に述べたスラブ表面品質向上・安定のための諸対策の実施により、無手入圧延実施率は大きく上昇するとともに、第2ステップであるHCRの実施が可能となった。第8図に無手入圧延実施率およびHCR実施量の推移を示す。現在、月間約3万トンのHCRを実施しており、これにより圧延加熱炉では約 $100 \times 10^3 \text{ kcal/t-slab}$ の省エネルギーが可能となった。

なお、第9図にHCR工程とスラブ品質保証体制を示す。厚板向スラブに対しては検査保証法を、薄板向については工程保証法を採用している。この結果、成品での表面品質はHCR実施前とくらべて差異なく推移している。



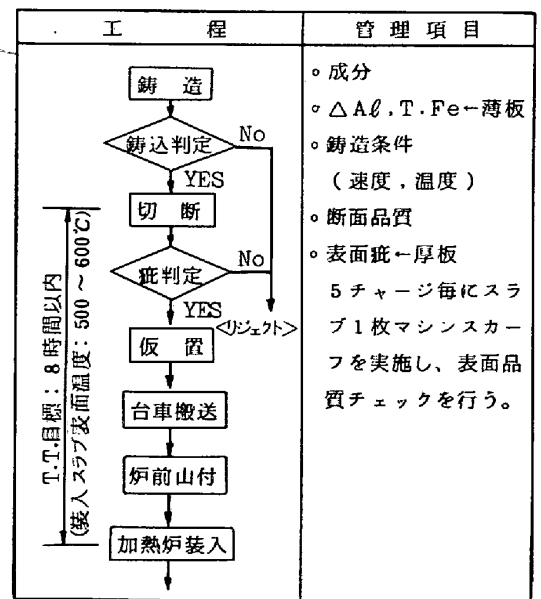
第8図 無手入圧延率およびHCR量の推移

5. 結 言 (今後の課題)

今後とも、エネルギーコストが高騰するなかで、HCRの量的な拡大を図るために、より高度な品質保証体制の確立を目的とした熱間疵見疵取装置の開発、電磁攪拌装置の活用、 casting - 圧延の同期化を行っていく予定である。またW.B.本来の特徴である緩冷却とロングモールドの利点を最大限に生かしてHCR効果の増大をも図っていく所存である。

参考文献

- (1)喜多村, 副島, 小山, 二宮, 森; 鉄と鋼 64(1978)8, A119
- (2)神戸製鋼; 第69回製鋼部会
- (3)喜多村, 小山, 八百, 副島, 安封; 鉄と鋼 65(1979)11, S721
- (4)飯田, 守脇, 上田, 垣生; 鉄と鋼 59(1973)4, S89
- (5)日本鋼管; 第64回製鋼部会



第9図 HCR工程と品質保証体制