

(討4) 連続鋳造スラブ表面疵発生原因および防止法について

日本鋼管(株) 京浜製鉄所 角南英八郎

○ 山上 諄

技術研究所 撰待 吉雄

1. まえがき

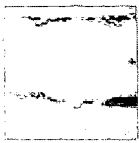
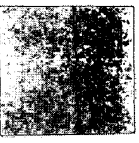
連続スラブ表面疵の存在は歩留の低下、手入による能率低下、製品表面性状の悪化等、連続材の適用範囲拡大を阻害する大きな要因となっており、これまで様々の表面欠陥防止の努力がなされてきた。

本報告では連続鋳造スラブ表面疵を横ヒビ、スター疵、縦ワレ、プロ疵、ノロカミの5つに分類し、それぞれの疵の発生状況、鋼板におよぼす影響を調査し、2次冷却条件によるスラブ表面温度履歴、鋼中成分、モールドオシレーション条件、モールド冷却条件、モールドパウダー滓化状況等の表面疵発生におよぼす影響の検討を行った結果を述べる。また昭和47年11月より開始した40 kg/mm²級鋼無手入圧延操業に関しても述べる。

2. 表面疵の分類および発生状況

一般に連続スラブに見られる表面疵はその形状、発生状況から表1のように分類することが出来る

表1 連続スラブに見られる表面疵

	横ワレ	スター疵	縦ワレ	プロ疵	ノロカミ
形状					
大きさ	長さ 50~200mm	大きさ 5~15mmφ	長さ 30mm~10m	大きさ 2mmφ	大きさ 2~15mm
	深さ 2~3mm	深さ 2~4mm	深さ 2~70mm	深さ —	深さ 1~5mm
位置	スラブ上面	スラブ全面	スラブ広面中央	スラブ広面	スラブ広面中央

これら表面疵のうち製品への影響度のもっとも高いものは縦ワレであり、ついで横ワレ、ノロカミ、スター疵、プロ疵の順である。また表面欠陥の発生頻度を考慮に入れると横ワレがもっとも影響度が高く、縦ワレ、スター疵、ノロカミ、プロ疵の順となることが知られている。

3. 表面疵の発生原因および防止法

3-1 横ワレおよびスター疵

横ワレは表1に示すようにスラブ上面側各オシレーションマークの谷部に沿って発生するのが特徴であり、次のような発生機構が考えられる。すなわち鋳片矯正時にオシレーションマークへの応力集中が生じ、スラブ表面温度が低延性域にある場合、表面オシレーションマーク谷部が切欠効果によって破断し横ワレとなる。高温での低延性域は図1の例にも示すように770℃以上850℃以下のある限定された温度範囲に存在し、この温度範囲をさけてスラブを矯正するのが横ワレ防止法として有効であることを筆者らは確認している。¹⁾

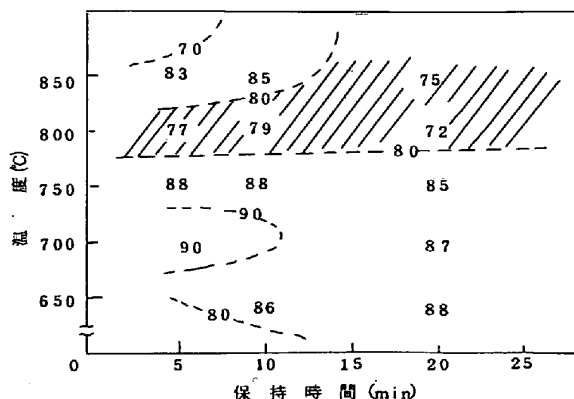


図1 溶体化後の高温延性 (R.A. %)

スター疵の発生原因に関しては従来、凝固シェルが鋳型内壁のCuを削り、付着したCuがオーステナイト粒界に拡散侵入し、いわゆるCu脆化を引起す説、鋳片表面がオーステナイト領域にある際にAlNがオーステナイト粒界に析出し脆化を引起す説等がある。筆者らは図2に示すようにAl含有量とスター疵の発生状況に明りょうな関係のあることを見出している。²⁾

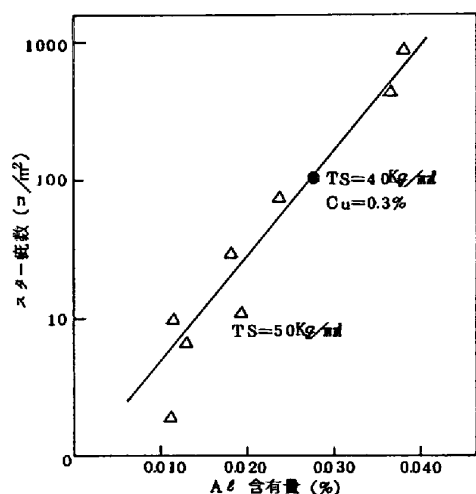


図2 スター疵発生におよぼすAl含有量の影響



図3 横ワレ，スター疵発生状況

図4 オシレーションマーク
(サルファープリント)

表2 横ワレ，スター疵の発生位置

	オシレーションマーク 谷部	オシレーションマーク 平滑部
横ワレ	97.9 (%)	2.1 (%)
スター疵	85.0	15.0

これらの事柄から防止策として次の方法が有効である。

1)スラブ表面温度管理の適正化，

2)スクウェアノズル等の使用による広角2次冷却法， 3)Al含有量の適正化， 4)Crメッキモールドの使用， 5)オシレーションマークの改善（ネガティブストリップ時間比率の低減）。

3-2 縦ワレ 縦ワレ発生原因としては a)モールドパウダー， b)モールド冷却条件， c)2次冷却条件， d)鋼中成分など多くの要因があげられる。これらの要因は単独でワレを発生させるのではなく，いくつかの要因の組み合わせによって発生させると考えられる。

a)モールドパウダーの影響 モールド内へ添加したパウダーは滓化し，モールド壁と凝固シェル間にスラグベアーを形成する。一般にスラグベアーの役目はモールド壁と凝固シェル間へのスラグの流入を調整することである。しかしながらパウダーの選択を誤ると局部的にスラグベアーが発達し，熱伝導が低下し局部的に凝固シェル発達に遅れを生じ，この部分に凝固収縮応力あるいは熱応力の集中が生じ縦ワレを生ずる。またこのような現象はパウダーの滓化速度がはやく，モールド壁と凝固シェル間にスラグが過剰流入する際にも生ずる。

b)冷却条件 モールド冷却条件に関しては冷却のアンバランスが生ずると図5に示すように凝固シェル発達状況に差を生じ凝固収縮応力のシェル不均一部への集中が生じ，縦ワレ発生となることが実際の連鋳操業で確認されている。また2次冷却条件についてはモールド直下における巾方向の冷却不均一によって生じる熱応力が原因と考えられる。

c) 鋼中成分の影響 一般にはC, P, S, As等によって縦ワレの発生率が異なることが報告されているが筆者らはいまだに影響のあることをいずれの成分に関しても確任していない。

これはAlN析出説³⁾あるいは，Al量増加による γ - α 変態時の熱間ワレ感受性増加説がスター疵発生原因として有力であることを示している。

また横ワレ，スター疵の発生状況はオシレーションマークと密接な関係のあることが図3，図4，表2より明白である。すなわち横ワレ，スター疵ともオシレーションマークの平滑面での発生頻度は小さく，いずれも谷部に高い発生頻度を示している。また図3，図4に示すようにオシレーションマークは組織的に不均質な部分が存在し（オーバーラップ）これらの疵の起点となることが考えられる。またスクウェアノズルを使用することによってスター疵，横ワレの減少することを確認しており，2次冷却によりスラブ表面に発生する熱応力が原因となることも推定出来る。

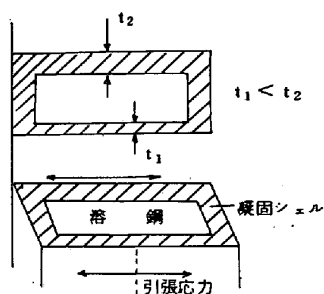


図5 凝固シエル発達の違いによる縦ワレ発生

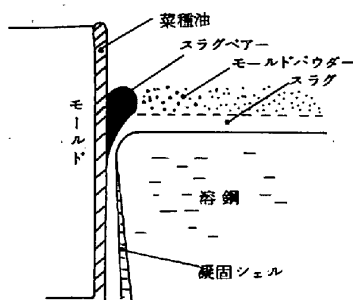


図6 菜種油、モールドパウダー併用操業

設備的に生ずると思われるモールド冷却、2次冷却のアンバランスはモールド冷却方式の改善あるいはオーバーラップスプレー冷却等の採用によって完全に防止することが出来る。しかし、モールドパウダーに起因するものについてはパウダーの品質管理等の困難な要素が多く完全に防止することは

不可能といわれているが、筆者らは菜種油、モールドパウダー併用操業を実施し、縦ワレ発生率（スラブ枚数比）で0.03%の低水準を維持している。また同時にパウダーについても事前に小ロットで試験使用し判定する方式を採用している。

3-3 ブロ疵 ブロ疵にはスラブ表面にあらわれた表面ブロと表面下に存在する表層ブロの2種類がある。しかしながら両者とも本質的には生成要因は同じものと考えることが出来る。生成要因は大別して鋼中成分とモールドパウダーが考えられる。鋼中成分については溶鋼の脱酸不足によって凝固時に生成するCOガス気泡が凝固初期にシエルにトラップされブロ疵を生成する場合と、非常にまれではあるが鋼中[H]によって生ずる水素性のブロ疵がある。（図7）脱酸不足によって生ずるブロ

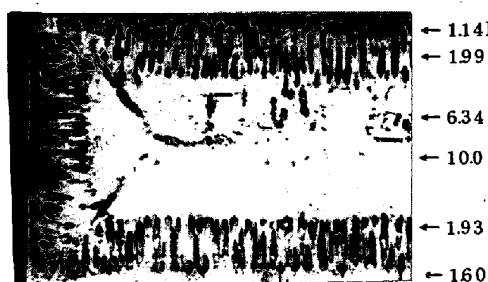


図7 水素によるブロ疵

疵についてはレドールT.Al含有量を0.008%以上で管理することが有効な防止法であり、水素によるブロ疵は取鍋、タンディッシュの乾燥を充分に行うことによって防止することが出来る。

パウダーに関してはパウダー中に含まれるCの燃焼とH₂Oの2つの原因が考えられる。モールドパウダー中に含まれるCは滓化速度をコントロールする役割をもっているがパウダーの顆粒化等によってCの必要性はなくなっており、C・フリーパウダー化が行われつつある。これによりC燃焼によるブロ疵の発生は完全に防止出来る。またH₂Oに関してはパウダー使用前の防湿対策、あるいは予備乾燥が有効な防止法である。

3-4 ノロカミ ノロカミの生成要因は一般にモールドパウダーの物性値の変化すなわち casting中に脱酸生成物、外来介在物がモールドスラグへ補集されスラグの流動性が低下する冶金的な要因と急激な湯面変動による未滓化パウダーの巻込み、モールド振動によるオシレーションマーク形成時のスラグの巻き込み等の機械的要因が考えられる。パウダーの物性値を変化させる要素はAl₂O₃であり、スラグの粘性、表面張力、熔融温度に与える影響は大きい。またパウダーの組成によってもAl₂O₃の影響度合いが異なることが知られている。筆者らはスラグ中のAl₂O₃量が20%以上にならないようなパウダーの選択、管理を行っている。機械的要因については図8に示すようにモールド振動のネガティブストリップ時間比率を約2%減少させることによってノロカミを激減させることが可能である。ここでネガティブストリップ時間比率は次式で示すものである。

$$Pn = 1/\pi \left| \cos^{-1} v_0 / 2\pi a Z \right| \dots \dots (1)$$

v_0 : 鋳造速度, a : $0.5 \times$ 振幅, Z : 振動数, Pn : ネガティブストリップ時間比率

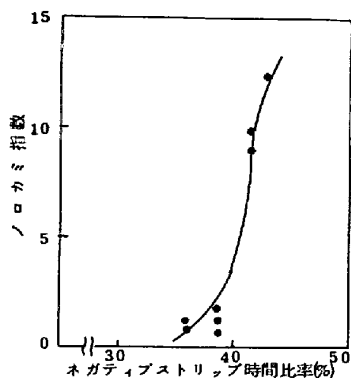


図8 モールド振動条件と
ノロカミの関係

板表面疵の残存率の把握で
あると考えられる。図9に京浜製鉄所における残存率を示す。
これにより圧延過程までで大部分の疵は消失し、最も残存率
の高い縦フレでさえ29%と低いことが判明した。無手入圧
延操業の維持には鋼板にあらわれる表面疵がスラブ段階での
疵の残存であるかどうかの厳密なチェックシステムの確立が
必要となる。⁴⁾

5. まとめ

筆者らはこれまで述べたように表面疵防止対策を行った結果、無手入圧延操業技術を確立し、次のよ
うな成果を得ることが出来た。

- 製品歩留の向上 (約3%の向上が得られた。)
- スラブから製品までの製造工期の短縮 (従来の $1/4$ まで短縮可能である。)
- 熱片無手入圧延化によるスラブ加熱燃料原単位の低減等の省エネルギー (約25%の燃料原単
位の低減が可能となった。)

参考文献

- 1) 安斉, 山上ら: 鉄と鋼, 60(1974)7, P.977
- 2) 角南ら: 鉄と鋼, 60(1974)4, S.38
- 3) 飯田ら: 鉄と鋼, 59(1973)4, S.89
- 4) 日本鋼管京浜: 第56回製鋼部会 (昭和48年11月8日)

また湯面変動を防止する目的で自動湯面レベル制御はノロカミ防止
に有効な手段であると考えられる。

4. 無手入圧延操業について

筆者らはこれまで述べた対策を実施することによって昭和47年11
月より $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 鋼について全量無手入圧延操業を開始している。無手
入圧延によって得られた鋼板の表面性状の水準は従来のスカーフィ
ングによる手入圧延鋼板と遜色のないことが確認されており、無手入
圧延対象製造の中で粗観測によって生ずる要手入スラブ発生率は0.3%
にすぎない。この無手入圧延操業を開始するにあたって最も重要なボ
イントはスラブ表面疵と鋼

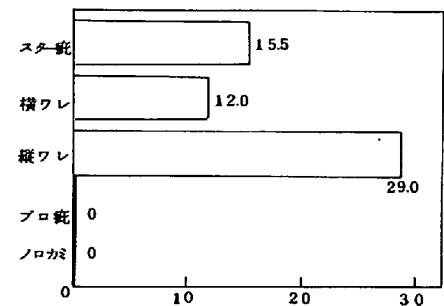


図9 スラブ 鋼板表面疵残存率(%)