

極低炭素鋼の表面品質改善

Quality Improvement of Ultra Low Carbon Steel

NKK福山製鉄所

高岡隆司*・亀水 晶・小平 悟
小松喜美・内野 薫・桑野清吾

1. 緒言

自動車外板等に使用される冷延，表面処理鋼板に要求される品質水準は年々厳格化傾向にある。一方その製造工程は省エネルギー，短納期を目的とし連続プロセス化（連続焼鈍化，連続鍍金化）され，その結果極低炭素鋼の薄鋼板に占める比率は増加の一途をたどっている。

また極低炭素鋼は製鋼工程において転炉未脱炭出鋼～RH真空脱炭処理が前提となっており，このため転炉出鋼時に取鍋内に流出した酸化度の高い転炉スラグによる溶鋼の再酸化など，溶鋼清浄性についての課題があった。またモールド内初期凝固においても，極低炭素鋼ではメニスカスでの凝固シェル先端部の成長に起因するスラブ表層部へのモールドパウダーのトラップが問題となっていた。このため他の低炭アルミキルド鋼に比べて製品表面欠陥の発生率が高いレベルにあった。

本報では福山製鉄所が取り組んできた極低炭素鋼の製品表面欠陥低減対策について報告する。

2. 製鋼介在物起因の製品表面欠陥

製品表面欠陥は欠陥部より検出される介在物により，①モールドパウダー性，②アルミナ性，③取鍋スラグ性，④スケール性に大別することができる。Fig. 1に各欠陥の極低炭素鋼における構成比率（コイル本数比）を示す。極低炭素鋼においてはモールドパウダー性欠陥の発生比率が最も高い。しかしモールドパウダー性欠陥はコイルの局所に集中して発生する傾向があるのに対して，アルミナ性欠陥はコイルの全面に発生するため，発生率は低いものの製品歩留りへの影響は大きい。そこで極低炭素鋼における品質改善のターゲットをパウダー性欠陥とアルミナ性欠陥に置き対策を講じた。

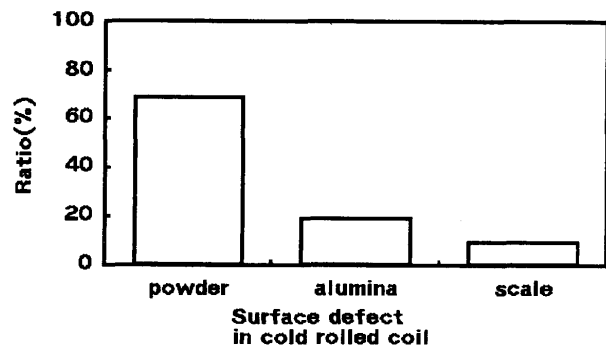


Fig.1 Component of surface defect in cold rolled coil

3. モールドパウダー性欠陥低減対策

3-1 モールドパウダー性欠陥発生機構

Fig. 2に鋳型内におけるモールドパウダー巻込み機構^{1) 2)}の概念図を示す。溶鋼表面流によるモールドパウダー削込み，および浸漬ノズル近傍に発生した縦渦によるモールドパウダー巻込みは主として，溶鋼表面流速が大きい場合に生じると考えられる。一方図中の凝固先端シェルがメニスカス方向へ成長し（以下「爪」と呼ぶ），モールドパウダーがこの爪にトラップされる現象は溶鋼表面流速が小さい場合に起こると考えられる。

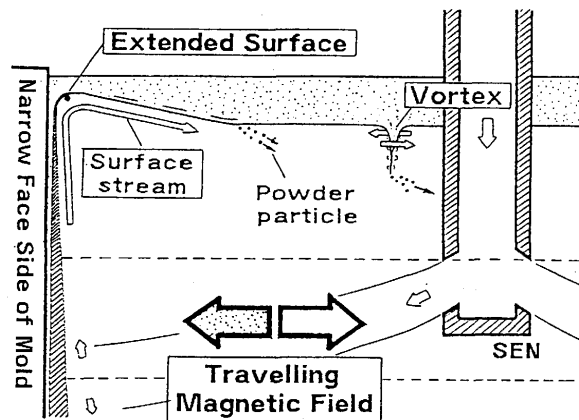


Fig.2 Concept of flow control in mold by travelling magnetic field

当所では鋳型内溶鋼表面流速を一定範囲に制御する目的で水モデル実験のデータをもとにF値³⁾を導入した。F値は下記の式で定義される鋳型短辺に沿う溶鋼反転上昇流の運動量で、メニスカス部の溶鋼表面流速に比例する。

$$F = \rho \times \frac{Q_L}{4} \times V \times (1 - \sin \theta) / D$$

ここで Q_L :溶鋼吐出量(m^3/sec), V :短辺衝突速度(m/sec), θ :短辺衝突角度(deg.), D :短辺衝突深さ(m), ρ :溶鋼比重(kg/m^3)である。Fig. 3にF値と製品コイルにおけるパウダー性欠陥発生指数の関係を示す。F値 ≥ 3.7 での欠陥発生指数の上昇は溶鋼表面流速過大によるモールドパウダーの削込み, または縦渦によるモールドパウダーの巻き込みによる欠陥の発生と考えられる。またF値 ≤ 3.0 での欠陥発生は, 溶鋼表面流速過小時に成長した爪へのモールドパウダーのトラップによる欠陥発生に対応すると考えられる⁴⁾。

3-2 鋳型内電磁攪拌による爪成長抑制

Fig. 4にF値と爪深さの関係を示す。なお図中における溶鋼吐出流を加速する方向での印加はEMLA (Electromagnetic Level Accelerator), 減速する方向の印加はEMLS (Electromagnetic Level Stabilizer)と呼ぶ。メニスカス部への熱供給の変化すなわちF値の上昇, 下降に伴い爪深さが変化していることがわかる⁵⁾。また同F値においてもEMLAの印加により爪深さが浅くなることわかる。この知見をもとにFig. 3に示した最適F値となるよう鋳型内電磁攪拌を適用している。以上の改善の結果モールドパウダー性欠陥の発生率は従来の約3割以下に低減された(Fig. 5)。

4. アルミナ性欠陥低減対策

アルミナ性欠陥の発生防止には溶鋼清浄化が不可欠であり, 当所では①取鍋スラグによる溶鋼再酸化防止, ②鋳型内介在物の浮上促進に着目した溶鋼清浄化策を講じた。

4-1 取鍋スラグによる溶鋼再酸化防止

取鍋スラグによる溶鋼再酸化の防止には転炉から取鍋内に流出するスラグの酸化度と量の低減が必要である。

当所では転炉出鋼後にAlを取鍋スラグに添加するスラグ脱酸⁶⁾を実施しスラグ酸化度の低減を図った。Table 1にスラグ脱酸実施前後の溶製諸条件を示す。RH脱炭終

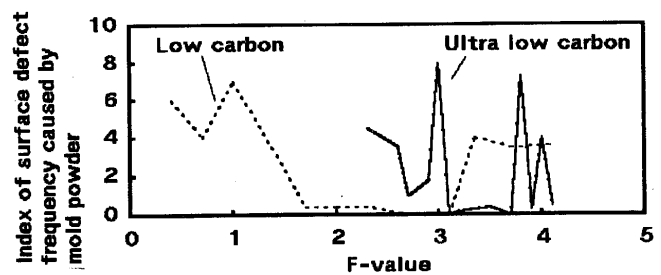


Fig.3 Relation between F-value and surface defect frequency caused by mold powder

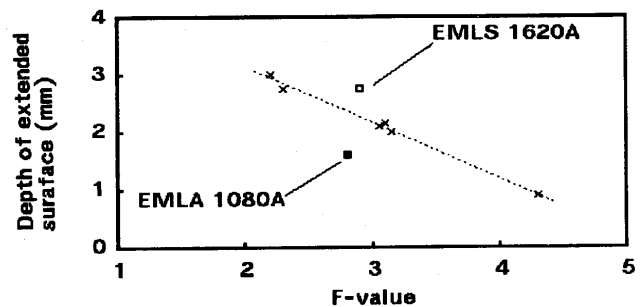


Fig.4 Effect of EMLA and EMLS on depth of extended surface

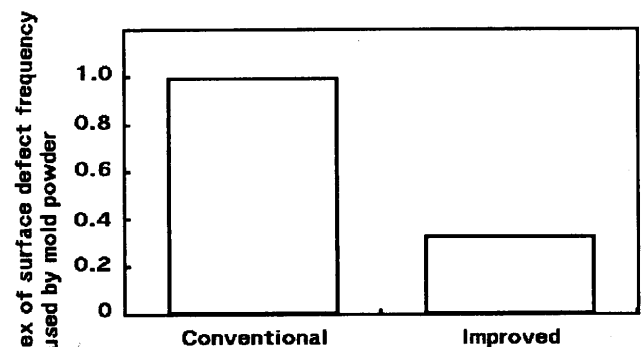


Fig.5 Effect of improvement on surface defect caused by mold powder

Table 1 Product condition changes of ULC steel

	Conventional	Improved
Process	BOF-VSC-RH-CC	BOF-RH-CC
Ladle slag (T.Fe)	RH _i 10~15%	RH _i 1~5%
(CaO)/(Al ₂ O ₃)	RH _f 1.0~1.2	RH _f 0.6~0.8
[O] (de [C] end)	450ppm	300ppm
Al consumpt.	1.0(index)	0.88(index)
TD slag thickness	28mm	17mm
T.O in mold	18ppm	16ppm
Tapping temp.	Base	Δ8°C

了時の溶存酸素が減少しているのは、スラグ酸化度の低減によりスラグから溶鋼への酸素供給が減少したためである。またRH処理後にスラグが固化するようスラグの組成(CaO/Al₂O₃)を調整した結果、取鍋からタンディッシュに流出するスラグ量が40%減少した。このように取鍋スラグが無害化された結果、従来実施していたVSCによる除滓工程が省略可能になった。

また転炉スラグカットを圧空式転炉スラグストッパーとスラグ検知器の連動で実施することにより、取鍋内スラグ量が減少し(Fig. 6)、スラグ酸化度のばらつきも減少している。

4-2 鑄型内介在物の浮上促進

Fig. 7に浸漬ノズル角度とアルミナ系介在物捕捉位置との関係を示す。またFig. 8に浸漬ノズル角度と製品コイルでのアルミナ性表面欠陥発生指数の関係を示す。浸漬ノズル角度下向き25°で良好な結果が得られた。これは浸漬ノズルより吐出され鑄型短辺に沿って下降する溶鋼流が減少したことにより、アルミナ系介在物の侵入深さが浅くなるとともに鑄型短辺に沿って上昇する溶鋼流が増加し介在物の浮上促進が図られ、鑄片に捕捉される総アルミナ量が減少した結果と考えられる⁷⁾。従来は鑄造幅および鑄造速度に応じ、浸漬ノズル角度は下向き25~45°を使用していたが、現在は介在物浮上に有利な下向き25°を全鑄造条件において採用している。

以上の改善の結果アルミナ性欠陥の発生率は従来の約1割に低減された(Fig. 9)。

5. 結言

(1) 極低炭素鋼のモールドパウダー性欠陥に対しては①鑄型内電磁攪拌の適用によるメニスカス部への適度な熱供給, ②鑄型内電磁攪拌による適正な溶鋼表面流速制御
 (2) 極低炭素鋼のアルミナ性欠陥に対しては溶鋼の清浄性向上を目的に①取鍋スラグの脱酸による溶鋼再酸化防止, ②浸漬ノズル吐出角度を浅くすることによる鑄型内での介在物浮上促進を行った。これら製鋼プロセスでの諸改善を実施し極低炭素鋼表面品質の改善に大きな効果が得られた。

< 参考文献 >

1)2)久保田ら; CAMP-ISIJ 2(1989)301, 12603)
 3)手嶋ら; CAMP-ISIJ 1(1988)155
 4)久保田ら; CAMP-ISIJ 3(1990)256, 257

5)久保田ら; CAMP-ISIJ 4(1991)253
 6)亀水ら; CAMP-ISIJ 5(1992)1288
 7)小平ら; CAMP-ISIJ 5(1992)211

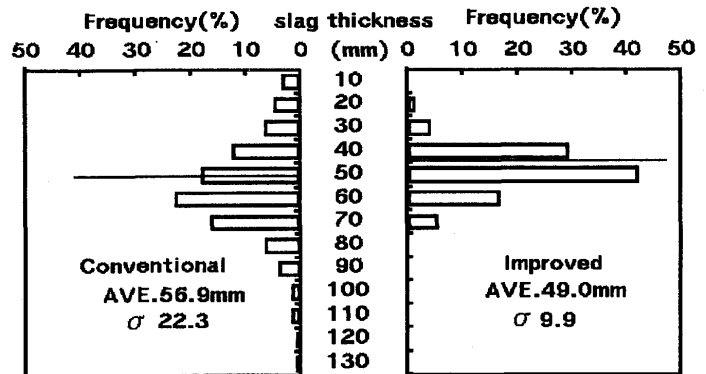


Fig.6 Reduction of ladle slag thickness by using PSS and BOF slag detector

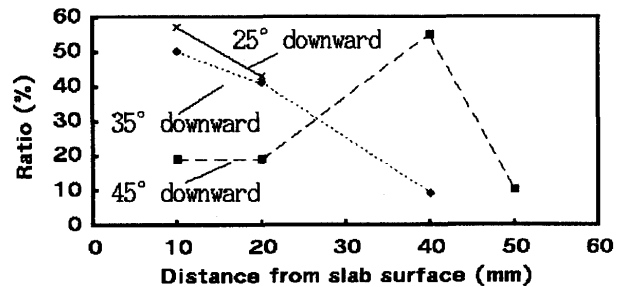


Fig7. Relation between SEN port angle and inclusion location

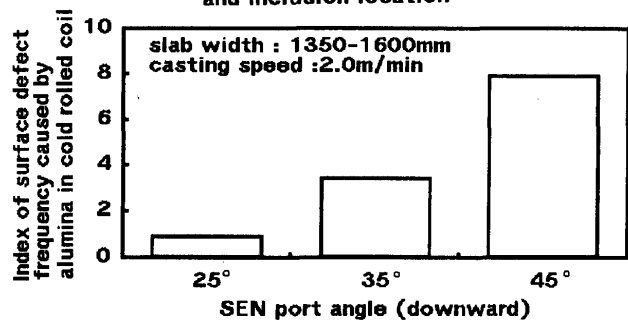


Fig.8 Effect of SEN port angle on surface defect caused by alumina in cold rolled coil

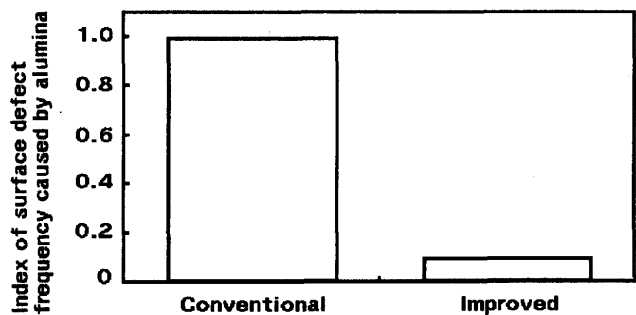


Fig.9 Effect of improvement on surface defect caused by alumina