

極低炭素鋼のスラブ品質改善

Improvement of Slab Surface Quality of Ultra Low Carbon Steel

川崎製鉄(株)千葉製鉄所
鉄鋼研究所

北野嘉久*・仮屋和広・朝穂隆一
山内 章・井戸川聡・糸山誓司

1. 緒言

鉄鋼製品の高級化・高付加価値化とともに素材品質に対する需要家ニーズは年々厳格化しており、とりわけ自動車用外板の主力となる極低炭素鋼については、ほぼ完全な無欠陥素材が要求されつつある。極低炭素鋼の素材欠陥は主としてモールドパウダーやアルミナ系の介在物に起因しており、当所において溶鋼の清浄化を図るとともに、鋳型内の溶鋼流動制御や初期凝固制御等の改善を実施してきたのでその状況について報告する。

2. 極低炭素鋼の問題点

(1) 製鋼起因による製品表面欠陥

冷延製品の製鋼要因と推定される欠陥部より採取したサンプルのEPMA分析の結果その6割が Al_2O_3 -CaO-SiO₂, Al_2O_3 -CaO-F, Al_2O_3 -CaO-Naを主体としたモールドパウダー系である事がわかる (Fig.1)。また、コイルの欠陥形態からこれらの介在物は、スラブの表面直下約2mm以内に捕捉されたものと考えられ、極低炭素鋼の素材欠陥は、初期凝固シェル“爪” (Fig.2) へのモールドパウダー・介在物等の捕捉が主要因と推察される。ところで、モールドパウダーが初期凝固シェル“爪”へ捕捉される機構として以下の2点が考えられる。

- 1) 溶鋼流動の偏流により生じた渦や、鋳型内溶鋼表面流動により溶鋼内に侵入したモールドパウダーの爪への捕捉。(Fig.2 A部)
- 2) モールドオシレーション時に形成される初期凝固シェル“爪”と溶融パウダーの物理的付着 (Fig.2 B部)

以上のことから、極低炭素鋼の素材欠陥を防止するためには、鋳型内溶鋼流動の制御及び初期凝固制御が重要な項目である。

(2) 極低炭素鋼の“爪”の生成状況

当所3CCで鋳造される鋼の鋼中[C]濃度に対する爪深さの関係をFig.3に示す。中・低炭素鋼の爪深さが浅いのに対し極低炭素鋼における爪深さは1.0mm以上にもなっている。すなわち極低炭素鋼は爪への異物の捕捉が起こりやすいものと考えられる。

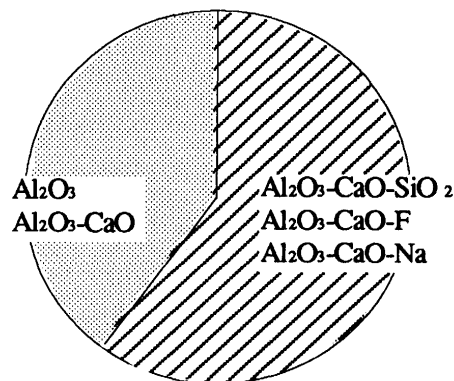


Fig.1. Qualitative analysis of defects on the surface of coils.

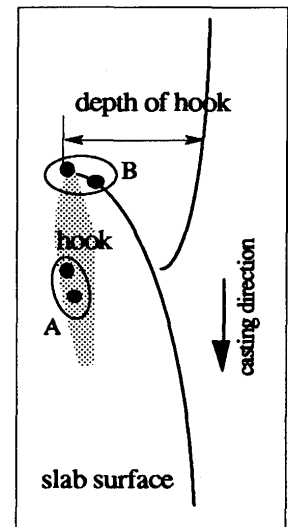


Fig.2. Schematic illustration of slab surface solidification structure.

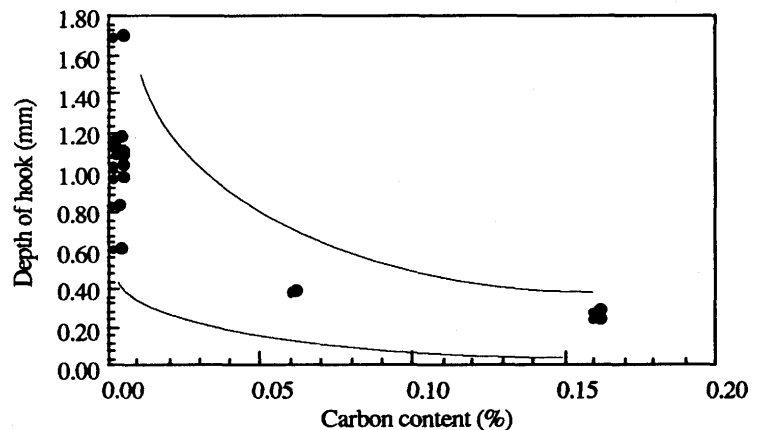


Fig.3. Influence of carbon content in molten steel on the depth of solidified hooks.

3. 極低炭素鋼の表面品質改善対策

極低炭素鋼の表面品質改善を目的として初期凝固シェルへのパウダー・介在物・気泡の捕捉を抑制する観点から以下の対策を行なった (Table 1)。

Table 1. Methods for the improvement of slab surface quality.

Objects	Improvements
① Decrease of hook depth Stabilization of mold level fluctuations Increase of temperature below meniscus	Flow control mold Exothermic powder
② Prevention of casting powder entrapment	Flow control mold High viscosity powder

高能率・高生産性 casting を達成する上で鑄型内溶鋼流動を制御することは極めて重要な技術であり、当社では静磁場を用いた鑄型内電磁ブレーキ技術 (Flow Control mold, 以下, FC mold)^{1)~4)}の開発を行ってきた。本設備は Fig. 4 に示すように静磁場を鑄型全幅にわたり上下2段に配置することを特徴としており、鑄型内溶鋼の表面流速と下降流速の低減を目的としている。静磁場発生コイルへの印加電流 1200A で 0.3T の磁束密度が得られる。

3.1 初期凝固シェル“爪”の深さ低減

従来より、爪深さ軽減には鑄型振動のハイサイクル化によるネガティブストリップ時間の短縮、溶鋼過熱度の上昇等が有効であるとの報告があるが、今回 FC モールド、発熱パウダーの爪深さに及ぼす影響について調査を行なった。

(1) FC モールドの爪深さに及ぼす影響

Fig. 5 に静磁場印加の有無によるネガティブストリップ時間 t_n と爪深さの関係を示す。静磁場印加により同一のネガティブストリップ時間でも爪深さが低減していることがわかる。これは静磁場印加によるメニスカス温度の上昇 (Fig. 6) と湯面変動の低減 (Fig. 7) による効果と考えられる。

(2) 発熱パウダーの爪深さに及ぼす影響

メニスカスへの積極的な熱供給のため発熱剤として Ca-Si 合金 5% を添加したモールドパウダーの爪深さに及ぼす影響について調査を行なった。Fig. 8 に発熱剤添加有無に

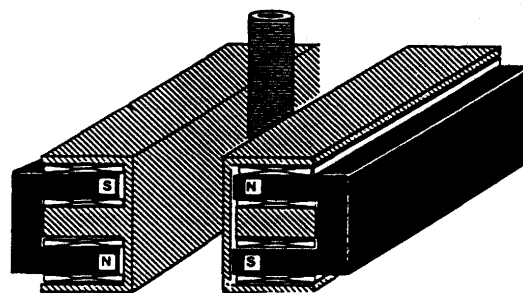


Fig. 4. Schematic view of the Flow Control mold (FC mold).

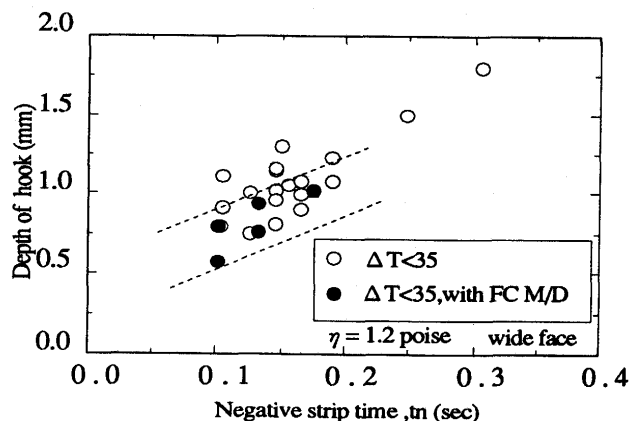


Fig. 5. Effect of FC mold on the relationship between negative strip time, t_n and the depth of hooks.

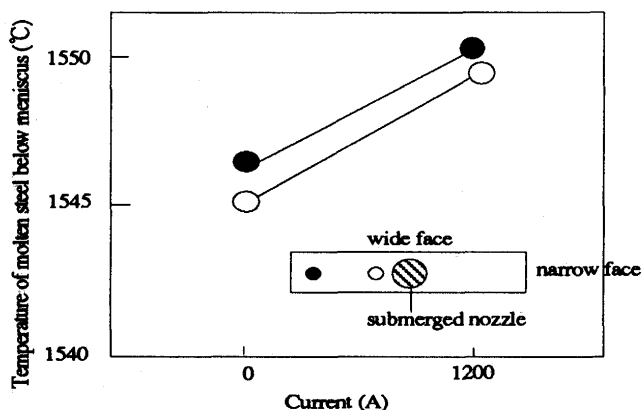


Fig. 6. Effect of the FC mold on the rise of temperature of molten steel below meniscus in a casting mold.

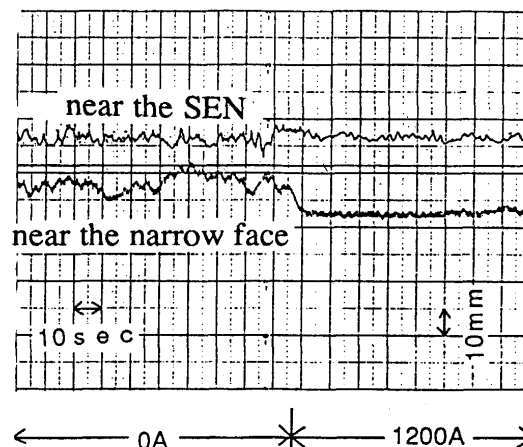


Fig. 7. Effect of the FC mold on the level fluctuations of molten steel in casting mold.

対する爪深さの平均値とばらつき、またオシレーションマーク部に観察される爪の発生率（爪個数/オシレーションマーク個数）の関係を示す。発熱パウダーの使用により爪深さ・ばらつきはわずかに減少するに留まるものの爪発生率は1/2以下に低減することがわかる。以上の対策により、オシレーションマークのうち、その爪深さがHOT無手入れ直送材のスケールオフ量以下となる割合は従来材の84.0%に対し、発熱性モールドパウダーの使用により92.0%、FCモールドの適用により97.2%に改善されている（Fig.9）。

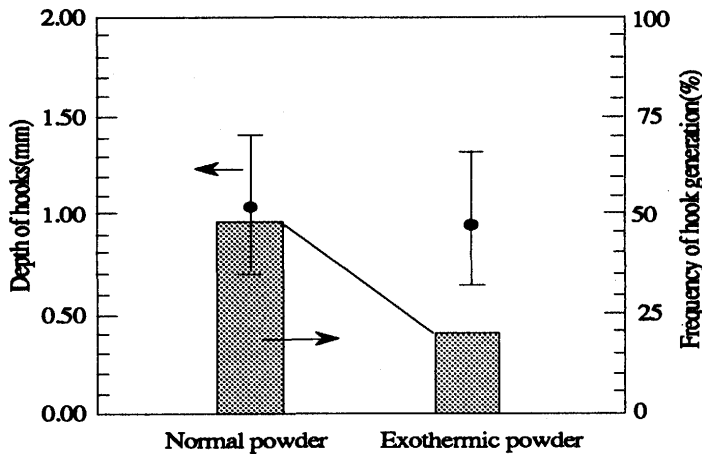


Fig. 8. Effect of exothermic powder on depth of solidified hooks and frequency of hook generation.

3・2 モールドパウダーの巻き込み防止

(1) 鋳型内溶鋼流動制御（FCモールド）

モールドパウダーの巻き込みを防止するためには、鋳型内溶鋼表面流速を低減する事が重要となる。Fig.10に静磁場印加強度に対する鋳型内表面流速指数の関係を示す。1200Aの印加強度で、その表面流速は20%低減されることがわかる。

(2) モールドパウダーの高粘度化

モールドパウダーの巻き込みを防止するためにパウダー粘度を従来の1.2poise (at1300°C) から2.4poiseとして巻き込みに対する効果を調査した (Table 3)。鋳型内溶鋼よりスポイトサンプラーを用いサンプルを採取し、サンプル中に検出される元素分析からモールドパウダーの巻き込み発生率を推定した。Fig. 11にサンプルから検出されるモールドパウダー系介在物の検出率の比較を示す。

モールドパウダー粘度を1.2poiseから2.4poiseにすることにより約20%、さらに、FCモールドの適用によりパウダー粘度1.2poiseにおいても約40%のパウダー巻き込みの低減が認められる。

4. 改善対策による冷延製品の品質

前述した極低炭素鋼の表面品質改善対策により Fig.12 に示すように、冷延製品での無欠陥製品の製造比率が向上することを確認した。

Table 2. Characteristics of mold powder.

	Normal	Exothermic
solidifying temperature (°C)	920	970
viscosity (poise at 1300°C)	1.20	2.01
CaO/SiO ₂	1.14	1.02
exothermic composition	—	CaSi 5%

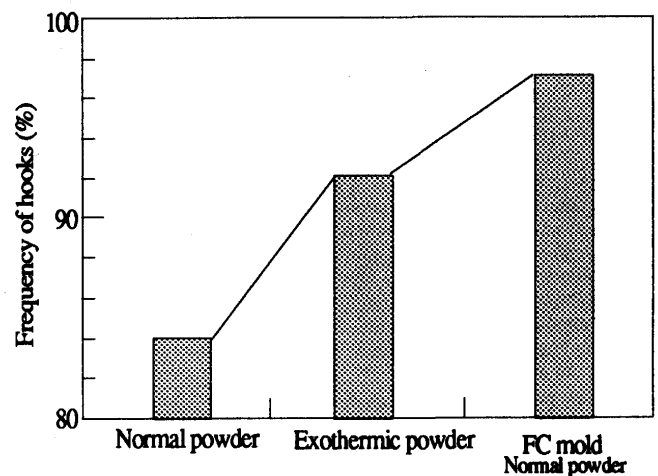


Fig. 9. Effect of exothermic powder and FC mold on frequency of hooks.

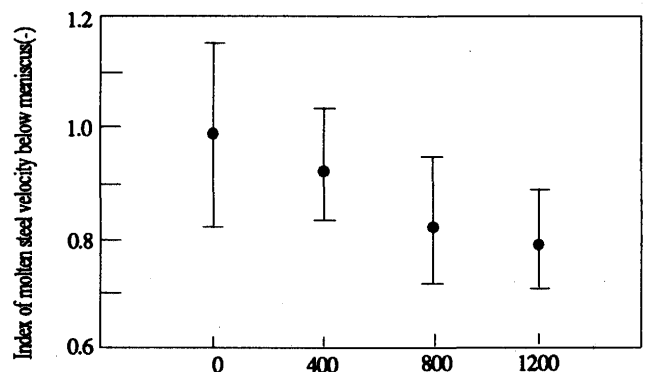


Fig. 10. Relationship between electric current and index of molten steel velocity below meniscus.

Table 3. Characteristics of mold powder.

	Normal	Improve
solidifying temperature(°C)	920	920
viscosity (poise at 1300°C)	1.20	2.40
CaO/SiO ₂	1.14	1.01

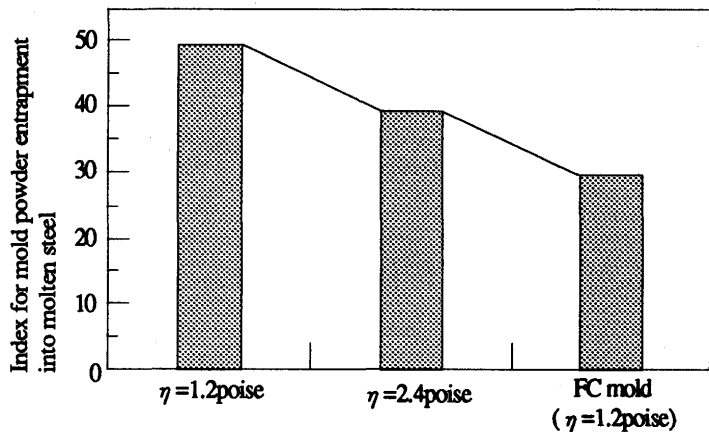


Fig.11. Effect of viscosity and FC mold on powder entrapment.

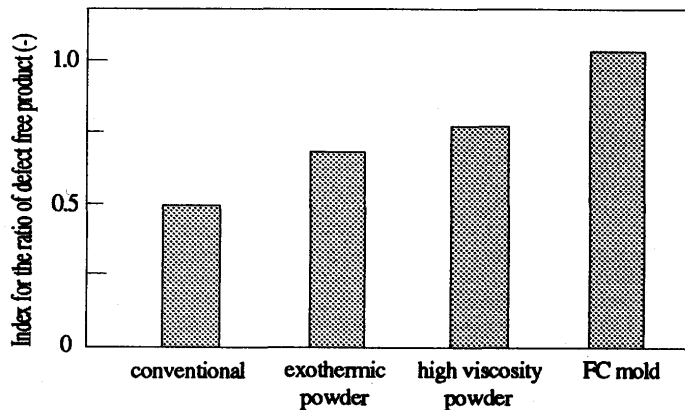


Fig.12. Improvement of cold coil surface quality.

5. 結言

当所における極低炭素鋼の铸片品質改善対策とその効果について以下の事を述べた。

- (1) 極低炭素鋼ほど初期凝固シェル“爪”深さが深く、その深さ低減にはFCモールドが最も有効である。
- (2) 極低炭素鋼の製品欠陥の6割がモールドパウダーに起因し、パウダー巻き込み低減には、FCモールドによる溶鋼流動制御が最も有効である。

今後、FCモールドの工程化を行ない無欠陥铸片の製造体制の確立を図り铸片無手入れ化を推進していく。

文 献

- 1) 井戸川ら：材料とプロセス,5 (1991), p.36
- 2) 杉澤ら：材料とプロセス,5 (1991), p.1281
- 3) 井戸川ら：材料とプロセス,5 (1992), p.995
- 4) 仮屋ら：材料とプロセス,5 (1992), p.996