

討 7

厚板用連続鋳機の高速鋳造

住友金属工業(株)

鹿島製鉄所

植田 嗣治 橋尾守規

丸川 雄壽 徳田 誠

川崎 守夫 木村智彦

I 緒 言

連続鋳造における生産性向上にとって高速鋳造は極めて有効な方法であるが、操業上 品質上の問題もあり高速鋳造を達成するためには操業技術や設備対策が必要となってくる。

薄板用低炭素鋼においては鋳造速度の高速化に伴う品質上の問題点は比較的少なく一般に 1.0 m/min 以上の鋳造速度が達成されているが厚板用の場合には高速化に伴い内部ワレ 中心偏析 表面疵等の欠陥が生じやすくなり特に内部ワレの問題は成品最終合格率を左右する重要な問題である。

当所においてはこの問題に取り組み、2次冷却方法の改善により内部ワレを発生させることなく厚板用鋼で最高 1.4 m/min の高速化を図ることができたので、以下にその概要を報告する。

II 当所連続鋳機の概要と高速化の問題点

当所は表-1に示すように2基の連続鋳機を有しており、機長の長いNO.2CCMは通常、薄板向スラブの鋳造を行っており若干の未凝固矯正を行なっているが低炭アルミキルドが主体であるため、高速化に伴う内部ワレの問題は皆無であり従来より機長全体を使った鋳造を実施している。一方NO.1CCMは厚板用中炭素鋼主体の鋳造を行なっているが最大の鋳造速度でも未凝固矯正歪量は 0.05% 以下と小さく、一般にいわれている限界歪量 $0.3 \sim 0.5\%$ に對して未凝固矯正の問題はない。

然しながらロール間バルジングによる内部ワレの問題は残されている。この問題に関

表-1 鹿島製鉄所連続鋳機概要

連続鋳機	湾曲半径	ヒス入 ～ 矯正点	リホフアップ 長さ(約値)	スラブサイズ	最大鋳造 速度	向先
NO.1	125 ^m	196 ^m	235 ^m	220×1400-1800 250×1800-2100	1.4 1.1 ^{m/min}	厚板用
NO.2	125	196	285 ⁽²⁷⁾	270 ⁹⁵⁰ ×1350	1.2	薄板用

してはいくつかの報告がなされておりその防止対策としてロール間隔の短縮や2次冷却水量の増加が有効であるとされている。しかしながらロール間隔の短縮は大巾な設備改造が必要であり、また2次冷却水量の増加はスラブ表面温度のコントロールが難しくなるなどの問題がある。

中心偏析も高速鋳造化に伴い悪くなる傾向にあり、また表面疵についてもヨコワレ系欠陥やタテワレなど一般的に悪化する傾向にある。いずれにしても、高速化に伴う内部ワレ、中心偏析、表面疵の問題解決のために連続鋳機仕様と合致した正しい操業条件を選択する必要がある。

当所における厚板向スラブの連続鋳造は従来より強冷却-低温矯正法を採用しており表面、内質とも極めて安定した品質のスラブが得られている。しかしながら鋳造速度の高速化に伴い、従来の鋳造速度 1.0 m/min 以下の比較的遅い速度に有効性を示した強冷却-低温矯正の2次冷却方式が 1.0 m/min 以上の高速度域でも採用可能か否かが前述の問題解決のための重要なポイントとなる。それを検討するために 220 mm 厚スラブにおいて機長全体を使用した 1.4 m/min の高速鋳造試験を行い、最終的に強冷却-低温矯正の冷却条件が維持でき得ることを確認した。

III 高速鋳造における強冷却-低温矯正法の検討

1. 計算および実験での試験結果

従来の鋳造速度 (220 mm 厚- 1.0 m/min 以下) で全く問題のない強冷却-低温矯正法をベースにして、

どの程度まで鑄造速度をあげられるかという問題に対して伝熱計算をもとに検討し、実験テストと比較した。

伝熱計算は図-1に示すようにスラブ長手・厚み方向の二次元計算を差分法で行った。メッシュの大きさは $5\text{mm} \times 20\text{mm}$ である。またスプレーの熱伝熱係数は図-2に示すような温度と水流密度の関数として取扱った。鑄造速度 1.4m/min における計算結果のスプレー条件を 1.0m/min と比較して図-3に示す。

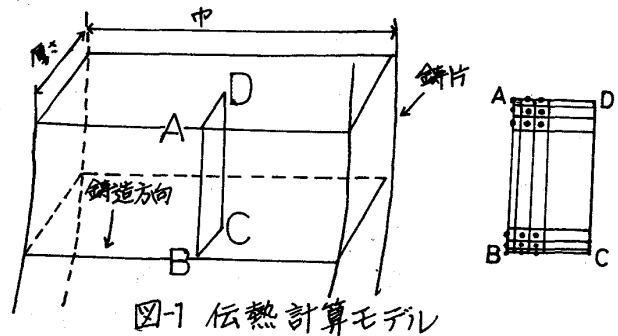


図-1 伝熱計算モデル

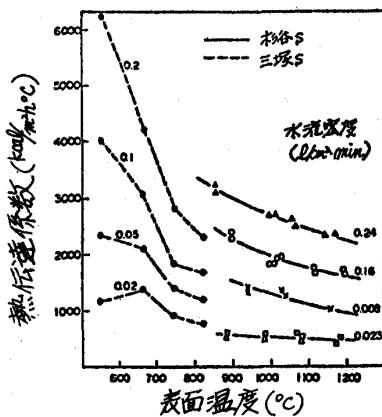


図-2 表面温度と熱伝達係数の関係

図中には同一条件における実験での温度結果を示した。これらの図からわかるように機長を全体に使った 1.4m/min の鑄造速度においても図-3に示すスプレー冷却条件で強冷却-低温矯正が可能であることが確認された。

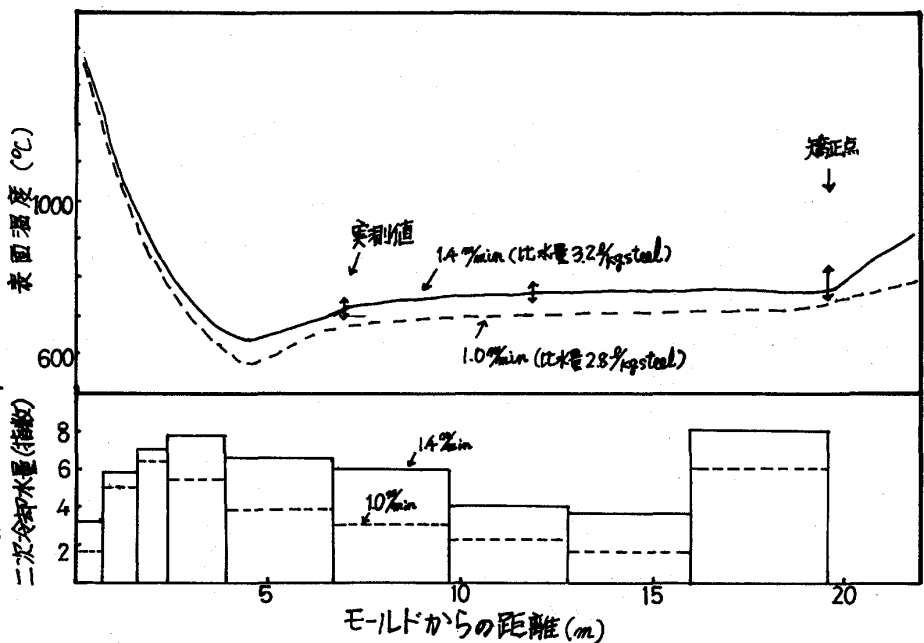


図-3 スプレー条件によるスラブ表面温度の推移

2. 強冷却技術開発

強冷却方法採用時の最も重要な問題はスラブ表面温度の均一化である。特にスラブのコーナー側より $200 \sim 400\text{mm}$ の位置では中央部に比べて表面温度の高い通称ホットバンドと呼ばれる部分ができ高速化に伴い、この部分が脆化温度域で矯正される場合、ヨコヒビと呼ばれるヨコワレ系欠陥が発生することである。

図-4は鉄打ちによる残存溶鋼厚さを示したものであるが、このホットバンド部分は中央部より凝固が遅れており偏析の悪化や最悪の場合中心ワレとして残る。このホットバンドの防止が強冷法による高速鑄造の課題の一つである。

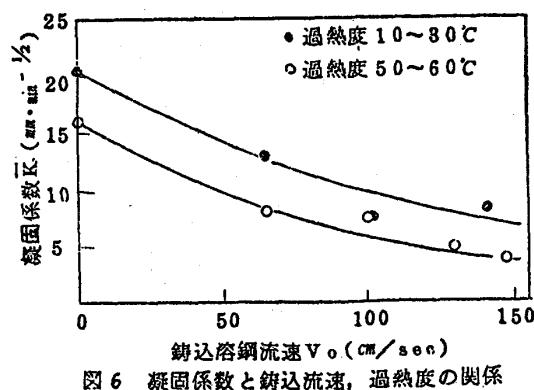
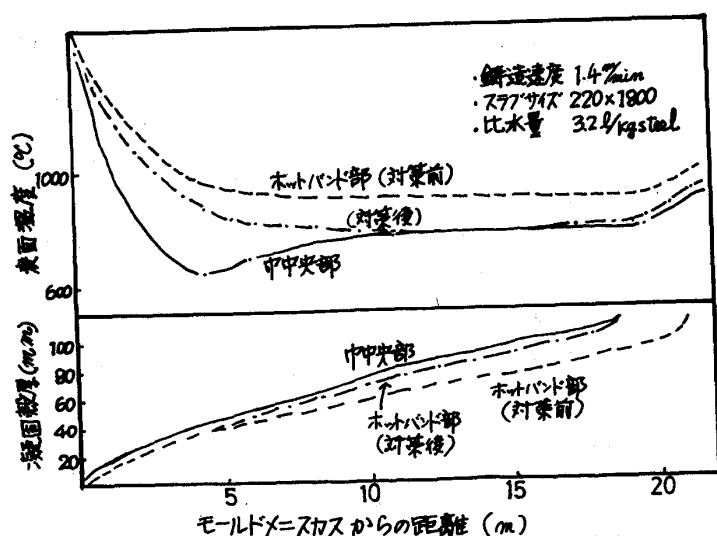
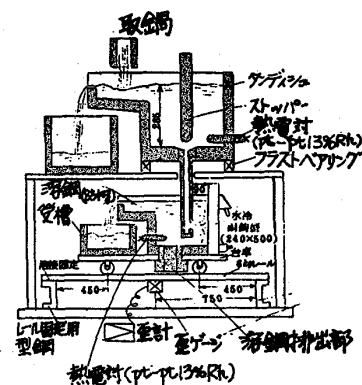
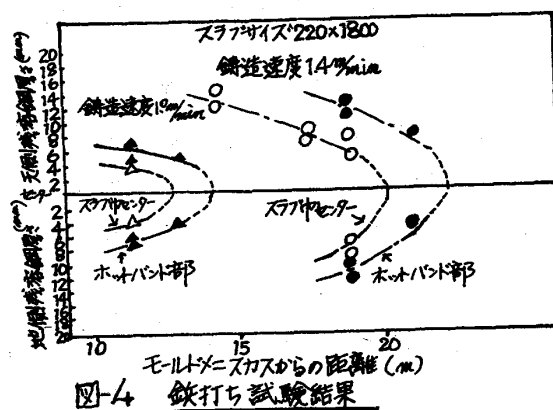
ホットバンドの生成原因については種々考えられる。まず考えられるのは浸漬ノズルからの溶鋼の吐出流の影響である。すなわち、浸漬2孔ノズルからの吐出流は一般にまずスラブ中の両端近傍を比較的高速の下降流でメニスカス下数cmまで下降し、その後、中中央部をゆるやかな上昇流となって上昇するといわれている。このような流速の差により、鋳片内の凝固厚の差が生じこれがホットバンド

形成の一因であると考えた。

図5は鋳込流が凝固殻の形成に及ぼす影響を調査するための試験装置であり、図-6はその試験結果を示す。この結果からわかるように、浸漬ノズルからの吐出流の影響による凝固の不均一に基づくホットバンドの形成は定性的には十分考えられる。

さらにホットバンドの形成はモールド内での一次冷却の問題とも関連していることが予想されるが、いずれにしても一旦何らかの原因で凝固殻、したがって表面温度に差が生じると、図-6からわかるように、たとえその後の2次冷却帯での冷却が均一に行なわれたとしても、それらの差はますます拡大するものと考えられる。

一方、初期の凝固殻の均一化にはある程度があることを考え合えるとこのようなホットバンド部の抜本的解消のためには2次冷却の改善が不可欠である。すなわち、凝固の比較的初期の段階からこのホットバンド部の冷却を強化しようという方向、水量の調整機能を付与せう必要がある。特に当所の場合には中心偏析対策から比較的低速で鋳造するNb-V系低合金鋼の鋳造比率が高いため、これらの鋳造と併用しうる冷却装置となるよう設備改善に工夫をこらした。図-7は対策前右におけるホットバンド部、中央部の表面温度とシエルの発達状況を示している。図-4に示したスプレー水量に比べホットバンド部の水量を15~20%程度アップすることにより最終的にホットバンドの解消された均一冷却が可能となった。当所においては以上の結果から厚板向スラブにおいて220mm厚みの場合1.4mm/minまでの高速鋳造を表面内質とも問題なく安定した製造を実施している。



IV. 強冷却高速鋳造スラブの品質

前述したように高速鋳造においてもスラブ全巾方向にわたって均一強冷却～低温矯正が可能となったためにスラブ表面ヨコビワレの発生は皆無となった。内部ワレに関しては $1.0\%/min$ 以下の鋳造速度ではまったく問題を生じていないが $1.4\%/min$ 速度時のシェル平均温度の上昇、シェル厚の相対的薄さによりロール間バルジングの増大が懸念されるので実験におけるバルジング量測定を行なった。測定方法を図-8に示し、結果を表-2に示す。

今、簡略な方法としてロール間バルジング量は弾性梁の式が適用できるものとして理論値と実測値を検討した。

$$\delta_{max} = \frac{60}{384} = \frac{P \cdot l^4}{E \cdot d^3}$$

P: 静鉄圧

l: ロールピッチ

E: マング率

d: シェル厚

「この式に前述の伝熱シミュレーションおよび測定結果

に基づく値を代入し、メススパスから10m位置における

ロール間バルジング量を求めると $\delta_{max} \approx 1.1mm$ となる。一方、表-2に示した実測結果からも強冷却時はこれに近い値が得られている。」

・写真-1は実際に $1.4\%/min$ の速度で鋳造したサルファープリントを示したものであるが、通常鋳込板に比べ遜色なく、内部ワレの発生も認められなかった。

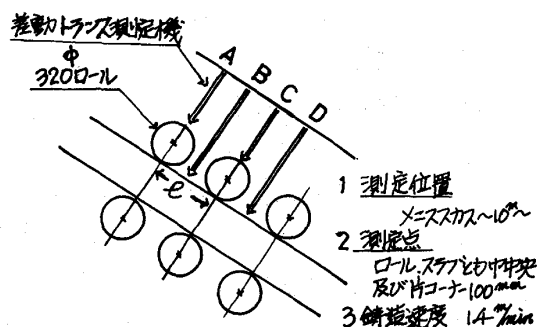


図-8 バルジング測定概略図

表-2 バルジング量測定結果
(スラブサイズ 220×1800)

測定点	メススパスからの距離	鋳造速度	バルジング量
B	10.8 ^m	1.0 ^{%/min}	0.3~0.5 ^{mm}
		1.4	0.8~1.2
D	11.3 ^m	1.0	0.3~0.5
		1.4	0.7~1.3

写真1 高速鋳造時の代表的なサルファープリント
(鋳造速度 1.4^{%/min})

V. 結 言

当所において従来より採用している2次冷却帯における均一強冷却～低温矯正法の改善を図り、厚板向スラブの220^{mm}厚において、 $1.4\%/min$ の鋳造速度が可能となり、表面・内質とも問題のないスラブが得られている。

〈参考文献〉

- 1) 高石 小舞 野呂 秋田 : 鉄と鋼 60(1974) P.505
- 2) 成田 森 : 鉄と鋼 56(1970) P.1323
- 3) 藤井 大橋 広本 織田 : 鉄と鋼 61(1975) S.56
- 4) 佐藤 北川 村上 川和 : 鉄と鋼 61(1975) S.47
- 5) 丸川 川崎 : 鉄鋼の凝固 (1978) P.249
- 6) 杉谷 川崎 : 鉄鋼の凝固 (1978) P.227
- 7) 野寄 小林 丸川 川崎 木村 : 鉄と鋼 64(1978) S.133
- 8) 山本 内田 呂原 武田 : 鉄と鋼 64(1978) S.154
- 9) " 64(1978) S.155
- 10) 三塚 : 鉄と鋼 54(1968) P.1457