

## (討4)

連鑄鑄片の品質におよぼす冷却条件

新日本製鐵 君津製鐵所

伊藤裕雄 山口孝之

○奥村治彦 柳沢健

1. はじめに 君津No.1連鑄設備は、深絞り用冷延薄板材、高張力高靱性を要求される厚板材を中心に、90,000~100,000 $T_M$ の生産量を推移する安定操業期にはいつた。これは、鑄片品質欠陥に起因するトラブルを未然に防止することにより、連鑄材の品質に対する十分な信頼性を得た事も、大きく寄与していると思われる。本報告は、冷却条件と鑄片品質との関係について、実操業データをまとめたものである。鑄片品質としては、表面欠陥として縦割、内面欠陥として中心濃厚偏折を取上げた。

## 2. 鑄片縦割

1) 縦割発生の実態 鑄片に発生する割は、冷却過程に発生する熱応力と、ピンチロールなどによる外力との不均衡によつて発生する。特に鑄片表面に発生する縦割は鑄型での冷却条件が主因であることも、経験的に知られている。fig1は、鑄型広面にテーパをつけた鑄型を使用した場合の縦割発生状況を示したものである。テーパ量は鑄型での冷却条件に対応させた量を選んでいる。

fig2は、その時の鑄型での抽出熱量分布を示したものである。テーパ鑄型の場合は従来の平行鑄型に比べて抽出熱量が均一であるので縦割発生が少いことが明らかである。特に湾曲鑄型においては鑄型内空隙の生成が容易であるために、テーパ鑄型は均一冷却条件確保上、有効と考えられる。その他、鑄型内溶融パウダー組成の適正維持が、均一冷却条件確保に必要な事は云うまでもない。fig3は、鑄型での冷却能と縦割発生状況を示したものである。いわゆる偏平比の大きい鑄片ほど縦割が発生しやすく、また、緩冷却にするほど割の発生は減少する。緩冷却条件を得るには鑄型銅板厚み、冷却水溝の形状、冷却水流速など鑄型冷却条件の適正化を図ることは当然であるが、実際の鑄造作業時に鑄型冷却水入口温度を適正值に管理することは有効な手段である。fig4は、冷却水入口温度と割の関係を示したものであり、冷却水入口温度が低下すると鑄型冷却能が増大し、特に、銅板厚みが薄くなるほど影響が顕著となるので、割が発生する。

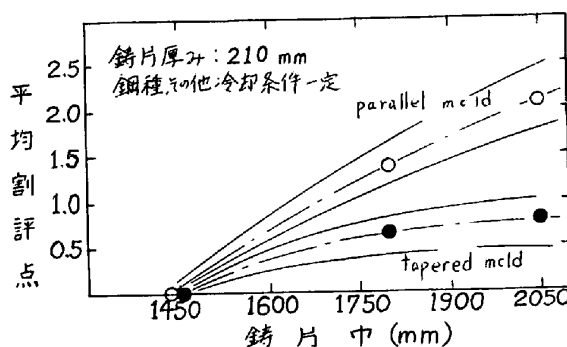


fig 1 テーパー鑄型と縦割発生の関係

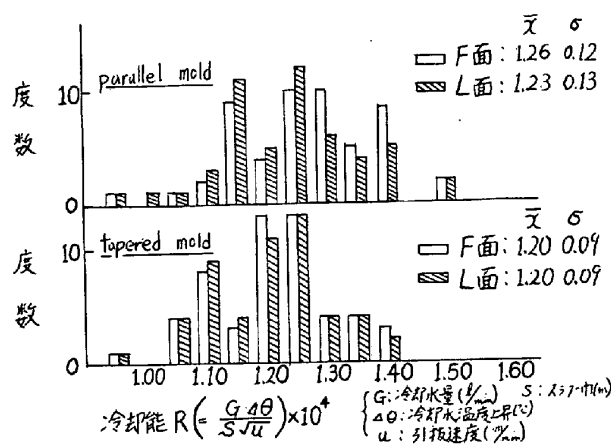


fig 2 鑄型での抜熱量の分布

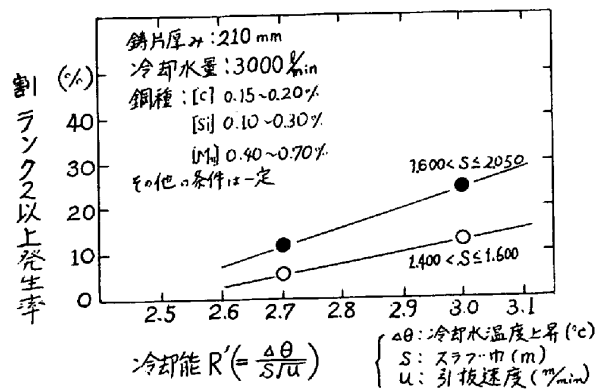


fig 3 冷却能と縦割発生率

2) 縦割発生機構 均一冷却条件においても、緩冷却を行わなければ、縦割が発生することが明らかとなつたが、凝固冷却過程の鋳片の応力計算を行うことにより、理論的に説明することができる。概略検討のために、平面応力問題として、肉厚円筒として計算を行うと、鋳片表面での最大剪断応力は次式で与えられる。すなわち

$$\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{\frac{\alpha E \theta_s}{1 - \nu}} \text{表面} = \theta^* \left[ \frac{4R^* - 3t^*}{2R^* t^*} + \theta^* \left\{ \frac{8R^* - 3t^*}{2R^* t^*} + t^* \right\} \right] - \frac{rH}{\frac{\alpha E \theta_s}{1 - \nu}} \frac{(R^* - t^*)^2}{t^* (2R^* t^*)} \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $\theta = \frac{\theta_0}{\theta_s}$   $t = \frac{ht}{k}$   $R = \frac{hR}{k}$   $\theta_0$ : 鋳片表面温度  $\theta_s$ : 鋳片凝固温度

$R$ : 鋳片サイズ  $t$ : 凝固厚み  $h$ : 鋳片表面熱伝達率  $k$ : 鋳片熱伝導率

$\alpha$ : 線膨脹率  $\nu$ : ポアソン比

$E$ : ヤング率  $r$ : 比重

$H$ : 浴鋼深さ

冷却強度として、 $x = \frac{ah^2}{uk^2} x$   $a$ : 温度伝導率

$u$ : 引抜速度、 $x$ : 湯面からの距離を導入し、

(1)式の左辺= $Y$ として、 $Y$ と $t^*$ の関係をfig5に示した。これから次のことが結論づけられ、縦割発生機構は熱応力が主因であることが説明できる。

(i) 凝固厚みが小さい時 ( $t^* < 0.05$ ) 凝固殻は浴鋼静圧で降伏する。

(ii) 鋳片が鋳型出口でブレイクアウトしない最小凝固厚みは  $t^* > 0.1$  でなければならぬので、通常の鋳造作業時には、鋳片におよぼす力としては、熱応力が主である。

(iii)  $t^* > 0.1$  の領域において割発生を抑えるには  $t^*$  を小さくする。すなわち、鋳片に対しては緩冷却を行う。

(iv) サイズ (幅) が大きいほど、割は発生しやすい。

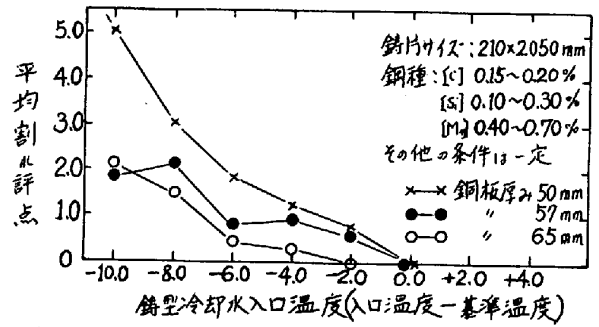


fig 4 鋳型冷却水入口温度と縦割の関係

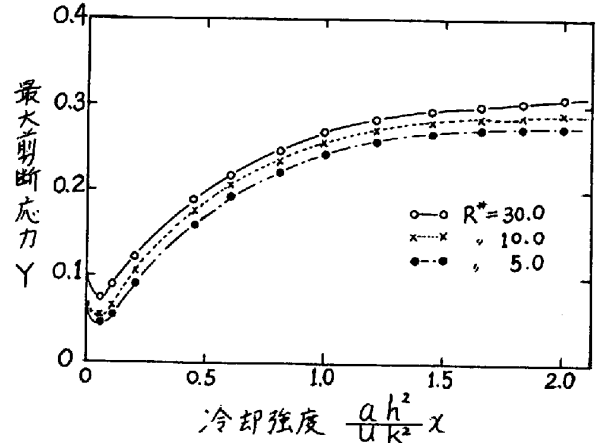


fig 5 最大剪断応力分布

3. 中心濃厚偏折

1) 中心濃厚偏折の実態 連続鋳片のU断面におけるマクロ偏折の形態、および偏折度を考慮した偏折評点と操業条件との関係を調査した。fig6は鋳造温度の影響を示したものである。引抜速度をあげても、それに対応させた冷却条件を設定すればマクロ偏折が悪くなることはない。この図中偏折評点の上限を示す境界線の傾き $\alpha$ は、鋼種によつて異なることをfig7に示す。非常に粗い見方をすれば、[C]量が増せば傾き $\alpha$ が大きくなり、

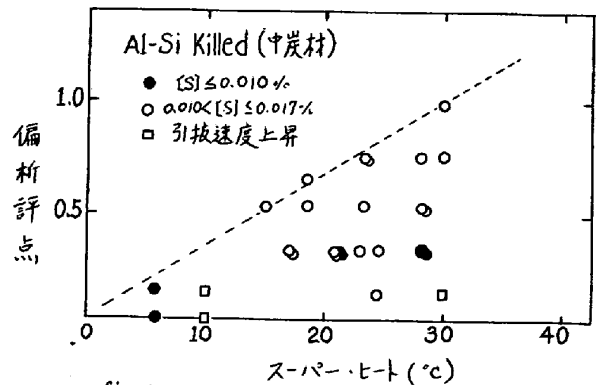


fig 6

偏折しやすいことを示しているが、[U]以外の成分の影響により、鋼種別に、偏折傾向に差があることは、操業管理上、重要な点である。fig8は、4種のスプレー水分分布を示したものであり、それに対応した偏折状況をfig9に示した。スプレー冷却領域においては、緩冷却が、マクロ偏折に対して、望ましいことが明らかである。fig10は、鋳造速度を急速に低下させた後、直に、定常速度に戻して、溶鋼流を急変させた場合のマクロ偏折の状況を示したものである。鋳造速度変動パターンから推定した溶鋼流変動領域を *Transient Zone* として表示してあるが、この領域において偏折評点が急増し、領域外において再び通常のレベルに戻っている。この他、ロール配列の不整の場合、未凝固部分の鱗片は、バルジ~コンプレッションを繰返えし、未凝固部の溶質は移動して、濃厚部と淡白部に分断されるといつた、外力によるマクロ偏折を生ずることがある。このような半連続の偏折形態はロール整列基準を厳しく管理し、鱗片の冷却パターンを適正化することによって防ぐことが容易である。

2) 界面安定係数 鋳造速度を一定化し、ロールから鱗片にかかる外力を抑制する作業条件を維持した上で、マクロ偏折を改善する鋳造条件は次のようにして求める。鋳造凝固組織を均質微細なものにするための条件については、*Chalmers* らによる組成的過冷の概念の導入による平らな固液界面の安定性の検討に端を発し、*Mullins* ら以降の熱および溶質流などの動的因子の導入にいたつて、固液界面の安定性についての諸因子の影響が明確になりつつある。最も簡単な考察としては、組成的過冷の概念から(4)式で定義される界面安定係数から鋳造条件を定めればよい。すなわち、組成的過冷領域において平滑凝固面がセル状界面に移行する条件式は次式である。

$$\frac{GL}{V} \leq - \frac{me \cdot C_{\infty}}{D} \cdot \frac{1-K}{K} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $D$  : 拡散係数  $K = \frac{C_s}{C_l}$  : 分配係数  
 $me$  : 液相線の勾配  $C_{\infty}$  : 界面から無限に離れた溶質濃度  $V$  : 界面移動速度  
 $GL$  : 融液内温度勾配

伝熱計算から

$$\frac{GL}{V} = - \frac{\theta_s}{a} \cdot \frac{d\theta_M^*}{dx^*} (R^* - l^*) \cdot \frac{1}{\frac{d\theta_M^*}{dx^*}} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $\theta_M^* = \frac{\theta_M}{\theta_s}$   $\theta_M$  : 鱗片中心温度 他は全て前出と同一

$$\therefore SR \times 10^3 \equiv \frac{d\theta_M^*}{dx^*} (R^* - l^*) \cdot \frac{1}{\frac{d\theta_M^*}{dx^*}} \dots \dots \dots (4)$$

(4)式をfig11に示した。(2)(4)式を比較すると、界面安定係数  $SR$  は、小さいほど均質微細組織が得られることを示す。鋳造温度を下げると偏折が軽減するということは、 $G_M^* \equiv 1$  であり  $\frac{d\theta_M^*}{dx^*} \equiv 0$  となり  $SR \equiv 0$  のことである。また、スプレー冷却で緩冷を行うと偏折を軽減することができるという事

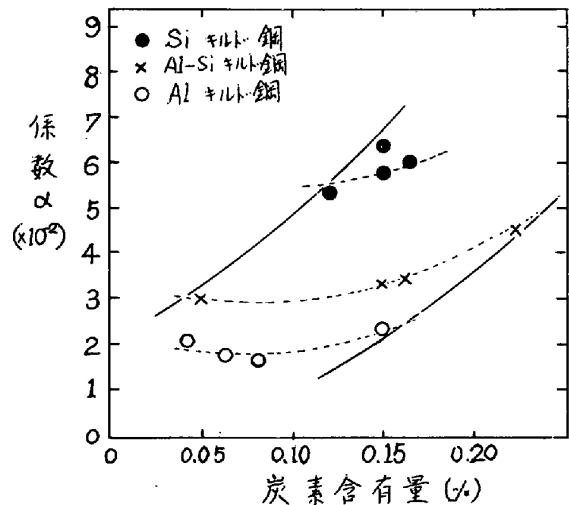
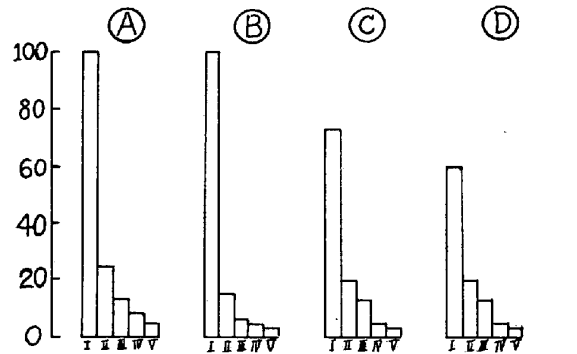


fig7 偏折に対する鋳造温度の影響



TYPEAのノズルIの水量 (l/min/cm²) を100とした場合のバターン  
 fig8 スプレー水量分布

実は、fig11 から、冷却強度  $\frac{ah^2}{uk^2}x$  を小さくし  $SR$  を小さくすることに対応している。ただし、fig11で示したように、界面係数  $SR$  は極大値をもち、冷却強度を十分大きくとることにより  $SR$  を小さくすることができることは重視すべきである。しかし一般的にいつて、設備制約上、冷却強度を 0 から極端に大きな値に不連続的に変えることは難しく、実際上は、緩冷却方式が適当であると考えられる。

3. 結論

- ① 連鑄鑄片の品質欠陥防止の鑄造条件としては、表面縦割れに対しては、最大剪断応力  $\gamma$  を、中心濃厚偏折に対しては、界面安定係数  $SR$  を考慮し定めたものがよい。
- ② 端的にいつて、品質欠陥防止の冷却条件としては、引抜速度を加味した冷却強度を緩かなものとするのが望ましい。

(参考文献)

- 1) W.H. McAdams, Heat transmission, 3rd Ed. (1954), McGraw Hills
- 2) J.W. Rutter and B Chalmers: Can. J. Phys., 31 (1953), 15.
- 3) W.W. Mullins and R.F. Sekerka: J. Appl. Phys., 35 (1964), 444.

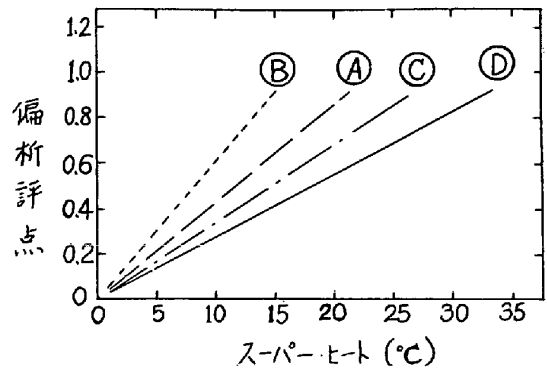


fig9 スプレー水量と偏折度の関係

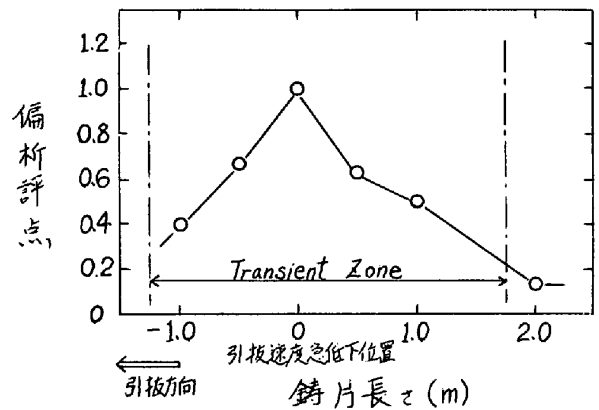


fig10 溶鋼流の変動と偏折

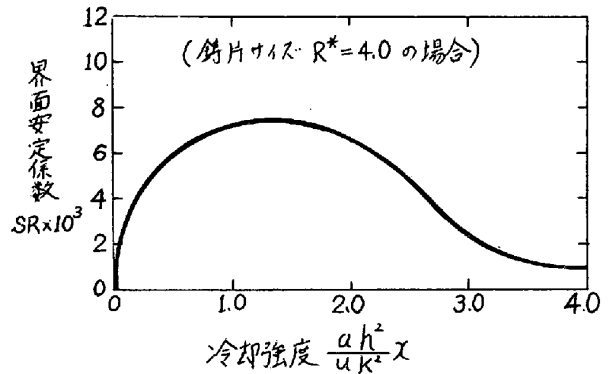


fig11 冷却条件と凝固界面安定性