

文 献

- 1) 加藤健, 他: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 462~464
- 2) 加藤健, 他: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1344~1346
- 3) H. J. FORSYTH: Basic Open Hearth Steel-making (1951), p. 396

669.141.241.4-412.620.192.43
 (89) 大型扁平キャップド鋼塊について

日本鋼管技術研究所 63089
 ○中村 正十・高橋 寿
 水江製鉄所 456~458
 富田 茂信・横山 信弘

On Large Capped Steel Ingots.

Masato NAKAMURA, Hisashi TAKAHASHI,
 Shigenobu TOMITA and Nobuhiro YOKOYAMA.

I. 緒 言

キャップド鋼塊は、分塊歩留りが高く、鋼塊頭部の濃厚偏析も軽い上に、表面性状が良好なので、水江製鉄所の鋼板用鋼塊の大部分はメカニカルキャップド鋼であり現在単重 20t までの鋼塊を製造している。一般に鋼塊単重が大となるほど、その内質の低下が予想され、鋼質を安定向上させるため、製鋼造塊上細心の注意と適切な条件の保持が必要である。今回は 17t 鋼塊について、2、3 の造塊条件の影響を検討した結果を述べる。

II. 試験鋼塊および調査方法

メカニカルキャップド鋼塊の内質に影響する因子として、1) 注入法 (上注, 下注) 2) 造塊時の蓋打時間, 3) 鑄込速度, 4) 鑄込温度, 5) トラックタイム, 6) 成分, 7) 鋼塊単重と形状, などが考えられる。これらのうち今回は注入法, 蓋打時間の影響を調査し、鋼種として JIS, SPC1 および SS41 相当の 2 種を選んだ。鑄型は公称 17t の MC 17 (880×1470×2200) とし、トラックタイム, 鑄込速度, 温度については現在の標準作業に従った。試験鋼塊の履歴を Table 2 に示す。

これらの鋼塊は各チャージとも 2 本選び 1 本は 130×1250 に分塊し、チェック分析, マクロ組織, サルファープリントを行ない、他の 1 本は熱延板は 6mm, 冷延板は 1.2mm に圧延しその機械的性質その他を調査した。

Table 1. Analysis and teeming conditions of tested ingots.

No.	Specifications	Ladle analysis (%)				Tapping temperature (°C)	Pouring	Teeming height (mm)	Teeming time	Track time
		C	Mn	P	S					
1	JIS. SPC 1	0.07	0.32	0.021	0.018	1.575	top pouring	2.010	2'50''~3'55''	3°19'
2	〃	0.06	0.32	0.016	0.021	1.615	bottom pouring	2.030	16'28''	3°19'
3	〃	0.06	0.32	0.013	0.018	1.595	〃	2.030	14'30''	3°19'
4	〃	0.07	0.32	0.015	0.020	1.580	〃	1.960	16'55''	3°36'
5	JIS. SS 41	0.19	0.45	0.015	0.022	1.570	top pouring	2.000	2'30''~4'20''	3°46'
6	〃	0.18	0.50	0.039	0.022	1.590	bottom pouring	2.030	14'09''	3°49'
7	〃	0.18	0.44	0.019	0.022	1.590	〃	2.010	16'40''	3°45'

III. 調査結果および考察

(1) スラブにおける成分偏析

鋼塊中心部を縦方向に、一部について巾方向に 10mm φ のドリルで試料をとり分析した「チェック分析」/「レードル分析」で偏析度とし、この値と鋼塊位置の関係をプロットして Fig. 1, 2 に示す。

偏析は両鋼種とも上注材が最も少なく、下注材は蓋打時間が長くなる程多くなる。蓋打しない鋼塊は著しい濃厚偏析を示す。しかしながら上注 2'30'' と下注 2'30'' にはかなりの差があり、また下注 2'30'' と下注 8'30'' にはそれ程大きな差がないことから考えて、偏析程度は注入開始から蓋打完了までの時間に左右されると考えた方が妥当である。

リム層の厚みについても同様で、上注材はやや薄すぎるが、下注 2'30'' はスラブ厚みに対するリム層の比が 12~16% で最も適当である。次に含有成分の影響であるが P, S は通常の成分としたためその影響を検討することはできなかつた。C は Fig. 1 からみられるように C の

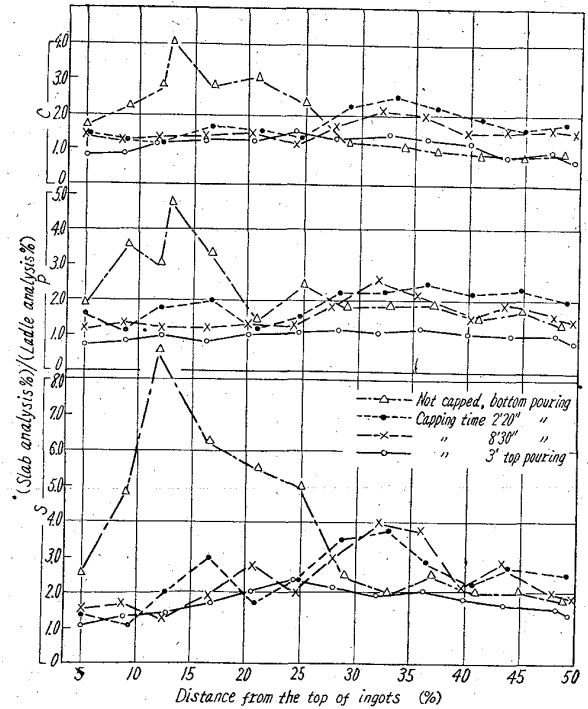


Fig. 1. Distribution of segregation-degree on longitudinal center section of slabs of SPC-1.

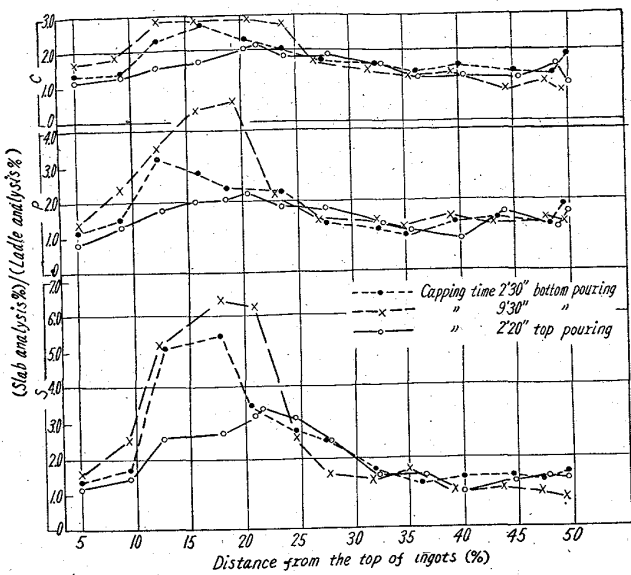


Fig. 2. Distribution of segregation-degree on longitudinal center section of slabs of S.S. 41.

高い方が、濃厚偏析の存在する位置を鋼塊頭部側に移行せしめると共に偏析度を高くしている。

CはN, Oの偏析に対しても同様に影響している。すなわち、N, Oは他の成分と同様な偏析傾向を示すが、Cの高い方が偏析度が高い。

(2) 非金属介在物

厚さ中央部およびリムとコアの境界附近の非金属介在物について調査した結果、厚さ中央部の介在物は FeS-MnS を主体としてSの偏析に比例しているが、可塑性があり余り濃厚でない限り有害とは考えられない。

リムとコアの境界附近には MnO を主体としたスカムが、上注材や下注 2'30'' 材にみられる。これはスカムの浮上に関係するものと考えられ、リミング時間の短いものすなわち注入速度の速すぎるのは不利である。

(3) 熱延板および冷延板の機械的性質

スラブにおける偏析は製品においても傾向として残るが、著しく軽減される。Fig. 3, 4には若干の機械的性質の値を鋼塊位置に対照して示すが、上注材は鋼塊位置によるバラツキが最も少ない。

IV. 結 言

JIS, SPC1 および SS41 相当の鋼種について、注入法、蓋打時間を異にする 7ch の 17t メカニカルキャップド鋼について調査した結果を総括すれば次の通りである。

(1) 蓋打時間の影響

蓋打時間が長くなるにつれ、鋼塊頭部の偏析は著しくなり、また濃厚偏析の位置は頭部側にずれる。この時間が短かいとリム層は薄くなるが偏析は軽くなり機械的性質の均一性はよくなる。これらの関係は注入開始より蓋打完了までの時間に関係するようであるが、偏析と表面性状のかねあいは下注 2'30'' が最もよかつた。

なおCが高いと各成分の偏析傾向が助長され、偏析度が大となるので、下注では鋳込速度を早め、上注では逆におそくして適当な条件を選べば、内質は更に向上する

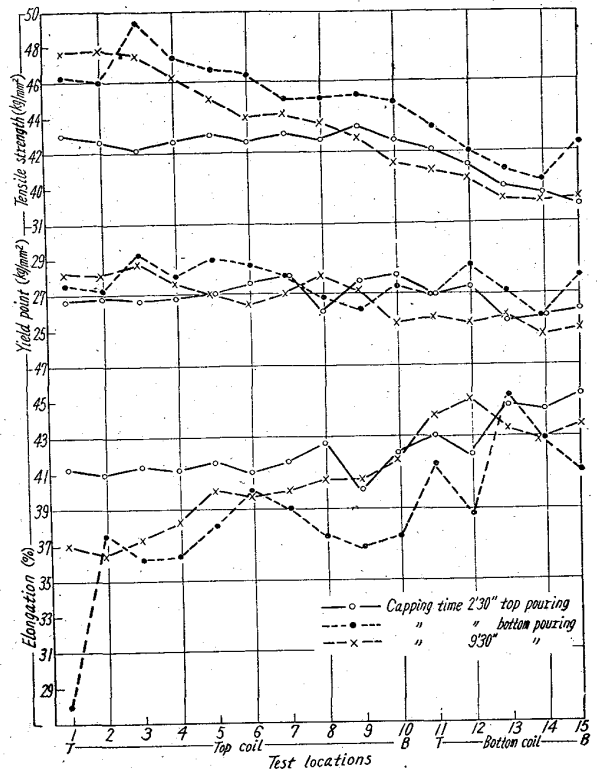


Fig. 3. Distribution of mechanical test values of hot-rolled sheets. (Normalized)

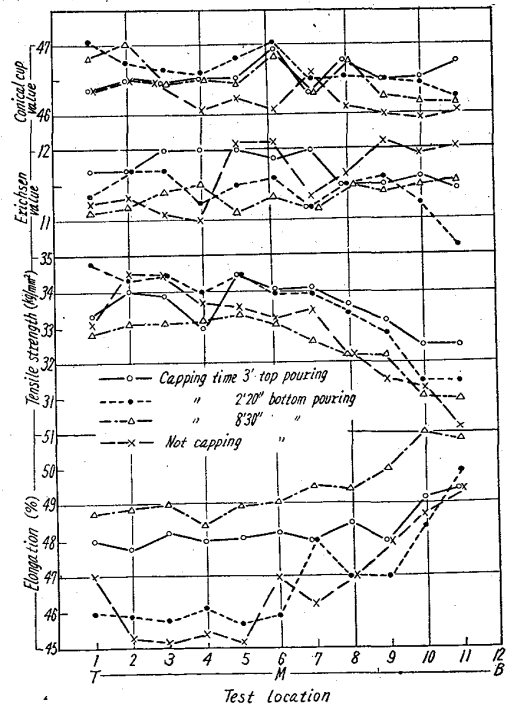


Fig. 4. Distribution of mechanical test values of cold-rolled sheets.

ものと期待される。

(2) 上注材と下注材の比較

上注材は成分偏析が少なく、機械的性質の均一性にすぐれているが、表層に MnO を主体とするスカムが多く

またリム層が薄いため表面性状が劣る。下注材は耐火物系統の介在物を心配したが、かようなものは全然みられなかった。

当所の場合、造塊設備は下注を主としているので、下注法の利点である良好な表面性状を保持すると共に、鑄込速度の検討によつて内質の向上をはかっている。

669.14-412:621.746.628
(90) 凝固過程における濃度分布
北海道大学理学部 63090

丹羽貴知蔵・下地光雄・○新明正弘
Solute Distribution during
Solidification Process. 458~459
Dr. Kichizo NIWA, Dr. Mitsuo SHIMOJI
and Masahiro SHINMEI.

I. 緒 言

鉄鋼中の非金属介在物や各種成分の濃度偏析の問題を取り扱う場合、最も基本的な立場から凝固過程を解析することが極めて重要である。近時半導体関係の分野ではこうした凝固過程の理論的解析も格段の進歩を遂げつつある。しかし半導体の製造では対象とする溶質の量が極めて少量で、凝固過程では溶質相互間の相関を一応無視しても差し支えなく、また凝固条件も人為的に極めて正確に制御され、非常に単純化された状態の変化である。したがつて溶質の量も多く、条件も簡単でない鉄鋼の凝固過程には、もつと一般化された理論的解析が必要となる。以下の議論はこのような立場にたつ解析の第一段階である。

II. 濃度分布の基本式

最も簡単なモデルとして一方向から凝固が進行する場合を考える。すなわち、①液相 bulk 中の溶質濃度は一様、また凝固完了後の固相中の拡散は考慮しない。②固-液界面が凝固の進行方向に対して垂直。③蒸発およびガス生成によつて系外に逸散する溶質量が無視できるということを仮定する。そこで固相および液相中の溶質のモル濃度を C_X^S, C_X^L 、液相中の溶質の原子数を N_X 、固化した際の試料全体の長さを H 、固相部分の長さを h_s 、液相部分のそれを h_L 、また固相の単位の体積当りの全原子数を ΣN^S 、液相のそれを ΣN^L とする。いま dh_s なる長さの固相ができて、 $|dN_X|$ だけの溶質が液相から失われ、固相に入るとすれば

$$C_X^S \cdot (A dh_s) \cdot \Sigma N^S = -dN_X \dots\dots\dots (1)$$

なる関係が得られる。ここで A は試料の断面積である。また液相 bulk 中の濃度は一様であるから、次のように表わされる。

$$C_X^L \cdot (A dh_L) \cdot \Sigma N^L = N_X \dots\dots\dots (2)$$

一方液相が固化しても原子数は変わらないから次式を得る。

$$(A h_L) \cdot \Sigma N^L = \{A(H - h_s)\} \Sigma N^S \dots\dots (3)$$

実際の分配係数を $K_X \equiv C_X^S / C_X^L$ で定義して (1), (2) (3) 式より

$$K_X - 1 = (1 - H/h_s) d \ln C_X^L / d \ln h_s \dots\dots (4)$$

を得る。この K_X は平衡分配係数 K^* と必ずしも等しくはない。(4)式は凝固の進行につれて、液相中の溶質濃度が如何に変化するかを示す基本的な微分方程式である。特別の場合として K_X が全凝固過程中一定とみなせる場合は、(4)式は容易に積分され、

$$C_X^S = K_X C_X^L(0) (1 - h_s/H)^{K_X - 1} \dots\dots (5)$$

を得る。ここで $C_X^L(0)$ は試料全体が溶けているときの溶質濃度である。(5)式は PFANN¹⁾ によつて与えられた式であるが、鉄鋼の凝固現象に対しては、溶質間の相互作用、凝固速度の時間的変化などによつて、 K_X 一定の条件が必ずしも満足されなくなる。そのときは基本式の(4)式にたちもどつて、 K_X の函数形を時確化した上で、改めて解を求める必要がある。

III. 凝固速度と分配係数

そこで先ず K_X と K_X^* の関係を考える。これには BURTON, PRIM, SLICHTER²⁾ による解析をそのまま使う。すなわち固-液界面の液相中には溶質の濃度勾配が存在し、溶質の移動に関する連続の方程式に定常状態を想定して

$$D_X \partial^2 C_X / \partial x^2 - u \partial C_X / \partial x = 0 \dots\dots\dots (6)$$

を解く。ここで D_X は溶質の拡散係数、 u は凝固速度である。境界条件としては

$x = h_s$ のとき

$$(C_X^{L0} - C_X^S) u - D_X dC_X / dx = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$x \geq h_s + \sigma$ のとき $C_X = C_X^L$ \dots\dots\dots (8)

をとる。ここで σ は拡散層の厚さである。凝固速度 u が一定の場合 (7), (8) の条件の下で (6) 式は、

$$(C_X^{L0} - C_X^S) / (C_X^L - C_X^S) = \exp(u \sigma / D_X) \dots\dots (9)$$

なる解を与える。界面で平衡が成立しているとする、 $K_X^* = C_X^S / C_X^L$ となるので、(9)式は

$$K_X = K_X^* / \{K_X^* + (1 - K_X^*) \exp(-u \sigma / D_X)\} \dots\dots\dots (10)$$

と書ける。急冷の条件 ($u = \infty$) では (10) 式より $K_X = 1$ で液相の濃度がそのまま固相の濃度となるが、理想的徐冷 ($u = 0$) では $K = K^*$ となつて、平衡論から予測される濃度を示すことになる。

IV. 凝固速度の変化の影響

ところで鉄鋼の凝固過程の場合、その凝固速度は場所により異なるいわゆる自然凝固の形式をとることが多い。そこで例えば LIGHTFOOT³⁾ によつて見出された実験式を用いると、凝固速度は、 α^2 を定数として

$$u = dh_s / dt = 1/2 \alpha^2 / h_s \dots\dots\dots (11)$$

で表わされる。この場合でも極めて初期の凝固を除いて (9), (10) 式はそのまま使用しても差しつかえない。

いま (11) 式を (10) 式に代入し、基本微分方程式 (4) を解くことにすると、

$$\ln \frac{C_X^L}{C_X^L(0)} \int_0^{h_s} \frac{\exp(-A/s) ds}{\{B + \exp(-A/h_s)\} (H - h_s)} \dots\dots\dots (12)$$

となる。ただし $A \equiv \alpha^2 \sigma / D_X$, $B \equiv K_X^* / (1 - K_X^*)$ である。計算の結果、

$$\ln \frac{C_X^L}{C_X^L(0)} = \sum_{n=1}^{\infty} \left[- \left(\frac{-1}{B} \right)^n \right] \{ E_i(y_m) \}$$