

Fig. 3. Calculated temp. end pt. temp.

上げ方式を採用しているため設備の消耗防止のため、溶鋼中のサンプリング時間は数秒以内にしている。

(2) サンプリング時間が極めて短いため、溶鋼が下から流入する下注法、上から流入する上注法について内径高さ、真空度、材質についてテストしたが、いずれも採取量の不足、不安定、空隙や気泡が混入し十分な試料が得られなかった。

当工場のサンプリングカップの特徴は特殊な形状、絞り付、材質の上注式カップでこれに Al を包含するものである。

(3) 短時間投込み吊上げのため断熱に留意している。

4.2 吹錬途中分析法の特徴

(1) サンプリング試料中に熱電対を挿入して凝固温度を測定し、サンプリング時の C を推定し、コンピューターにより吹止 C の目標値到達時機を予測計算し、吹止める。

(2) 凝固温度はサンプリング後炉外でも測定できるが試料重量、冷却、手数などのため炉内にてカップ内温度を測定している。

(3) 測定設備、測定法はサンプリングカップの他は測温法と同様である。測定記録例を Fig. 2 に示す。

4.3 予測計算制御結果

Fig. 4 に終点 C に対する予測計算結果を示している。これから本法により吹止 C 目標値 $\pm 0.01\%$ に維持できることが判明した。

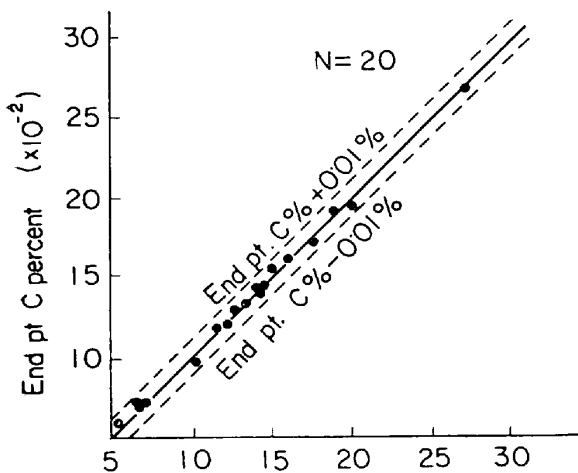


Fig. 4. Calculated C per cent ($\times 10^{-2}$)

5. 測定経費

本法は全て自家製のため、材料費のみを計上すると 1 回測温費 300 円、分析費 350 円両者同時測定の場合 500 円かかる。

6. 結 言

- 本報告はまだデーター数少なく改善余地もあるが、
- (1) 転炉吹止温度、C 制御に途中測温分析は有効で
 - (2) 終点温度: $\pm 7\text{deg C}$, C: $\pm 0.01\%$ に維持でき、
 - (3) 測定の 1 回当たり材料費測温 300 円、分析 350 円
 - (4) でコンピューターが必要であり、
 - (5) 測温精度について特別の配慮が必要なことが判明した。

文 献

- 1) 青山, 林: 鉄と鋼, 50 (1964) 9, p. 1744
- 2) 板岡, 斎藤, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 9, p. 1371
桂, 五十部, 板岡: J. of Metals April (1964), p. 340
- 3) 野坂, 田中: 計測と制御, 48 (1962) 7, p. 505
- 4) 青山, 林, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 9, p. 1723
- 5) 永岡, 白井, 八反田: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1493

4 t 型実用鋼塊における凝固時の冷却速度とデンドライト・アームの間隔との関係について*

神戸製鋼所, 中央研究所

鈴木 章・鈴木 武・長岡 豊・岩田至弘

神戸製鋼所, 神戸工場 高橋 正市

On the Relationship between the Cooling Rate during Solidification and Dendrite Arm Spacing of a 4ton Commercial Ingot

Akira SUZUKI, Takeshi SUZUKI

Yutaka NAGAOKA, Yoshihiro IWATA

and Masaichi TAKAHASHI

1. 緒 言

現在、合金の凝固条件を定量的に表現する方法として樹枝状晶の枝と枝との間隔、すなわち、dendrite arm spacing が用いられている。その dendrite arm spacing L と凝固温度範囲の平均冷却速度、 R との間に、 A, B を定数とすると、 $L=AR^B$ という関係式が成立することは実用鋼の場合にも認められており¹⁾²⁾、われわれもまた、いくつかの実用鋼において 100 kg 溶鋼を一端冷却させた小規模実験によつて、定数 A, B を求めてみた³⁾。 A, B は組成によつてきまる一定の定数であるといわれているが⁴⁾、小規模実験とは凝固条件が相当ことなっており、また凝固組織がかなり複雑であると考えられる実際の鋼塊の場合にも、100 kg 一端冷却で得られたのと同じ関係式が成立つかどうかを調べることを 1 つの目的として、換言すれば、小規模実験で得られた結果を用いて、ただちに実用鋼塊の凝固条件を推定できるかどうかを知

* 第73回講演大会にて発表 講演番号 100 昭和42年5月18日受付

ろうとしてこの実験をおこなった。

用いた鋼種は Cr-Mo 鋼である SCM 4 である。4 t 鑄型に溶鋼を注入した後、鋼塊内のいくつかの点で、凝固完了まで温度を実測し、その後、この鋼塊の凝固組織を調べ、dendrite arm spacing と凝固温度範囲の平均冷却速度との関係を検討した。

2. 実験方法

試験鑄型に、Fig. 1 のように熱電対をセットした。熱電対保護管には 4 重管を採用した。外側から、鋼管、透明シリカ管、高アルミナ管、高級高アルミナ管、白金-白金ロジウム熱電対といった組合せである。以上の準備が終った後、通常の造塊工程と同じ条件で、溶鋼を下注ぎにより鑄型に注入し、凝固冷却過程を測温した。

3. 実験結果および考察

3.1 凝固冷却過程の測温

測温の結果、測定点 11 箇所中、5 箇所、すなわち、No. 1, No. 3, No. 4, No. 7, No. 10 が凝固完了まで正常に測温できた。ただし No. 10 測定点は鑄型壁を測温しているのので、実質的には 4 箇所しか凝固冷却曲線が得られなかった。測温に失敗したのは 6 箇所であった。このうち、No. 2 測定点は温度上昇の様子がおかしいので測定結果から除外した。No. 5, No. 6 測定点は測温途中の作業上のミスのために測温に失敗した。鋼塊の軸心部を測温している No. 8, No. 9, No. 11 の測定点は、注入後ほぼ 60 min 経過した時、それぞれ異常が認められて測温を中断した。これはこのような組合せの保護管でもなお耐熱強度が不十分であったためである。

3.2 dendrite 組織

Stead 氏液を用いて試料を腐食し、dendritic な組織を現出した。

チル層は 20 mm 程度存在する。鑄型壁より 20 mm 付近からはつきりした柱状晶が発達しはじめ、鋼塊のどの部分でも鑄型壁より 65 mm 付近まで続いている。この柱状晶は、成長方向に垂直な断面で十字の形であられるのみで、高次の枝をもたず、いわゆる cellular dendrite といわれるものである。なお、この柱状組織の上に superimposed 組織が認められる。

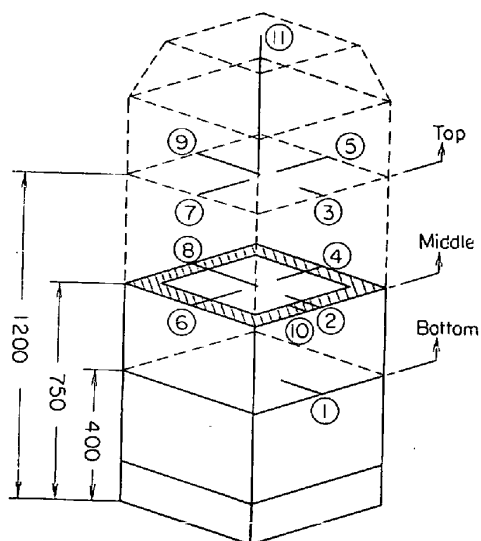


Fig. 1. Position of thermocouples.

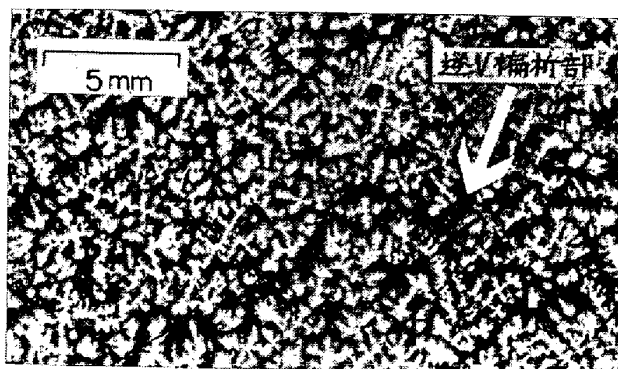


Photo. 1. Boundary between the transition zone from the columnar to equiaxed structures and the equiaxed zone.

鑄型壁より約 65 mm の位置から、柱状組織に乱れが生じはじめ、方向性をもたない等軸組織に次第に変っていく。この遷移領域は、鋼塊 bottom では鑄型壁より 65~105 mm の間、middle では 65~130 mm の間であり、top では 65~210 mm とほとんど鋼塊軸心部まで続いている。とくにこの遷移領域と等軸晶領域の境界では、鋼塊の他の位置にくらべて interdendrite の部分がいちじるしく大きいという特徴が認められる (Photo. 1)。そして、ちょうどここが逆 V 偏析の位置である。したがってこの逆 V 偏析の原因として、凝固界面がこの位置に達した時、なんらかの凝固条件の急激な変化、たとえば、air gap などが生じたためではなからうかと思われる。

その内側には、成長方向に平行な断面でも垂直な断面でも同じように、粒状に近いいちじるしく形のくずれた等軸晶が鋼塊軸心部まで存在する。しかし同時に、この粒状の等軸晶の間隙に、十分に発達した相当多くの明確な高次の枝をもち、粒状のものとははつきりと違ってみえる別の種類の等軸晶が認められる。このことから、等軸晶の成因は必ずしも 1 つではないことが暗示される。

3.3 マクロ偏析試験

分光分析法により、鋼塊表面から軸心部に向つて、30 mm 間隔で成分濃度を分析した。Al, Si, Mo では、はつきりとしたマクロ偏析はあらわれなかったが、Mn, S, Cr, P, C などの成分では、明瞭なマクロ偏析が認められ、同時にその偏析の様子も同じであった。そこで C で代表させると Fig. 2 のようになる。鋼塊 bottom での鑄型壁より 100 mm のピーク、middle での 130 mm のピーク、top での 220 mm のピークは逆 V 偏析に対応している。

3.4 dendrite arm spacing の測定

dendrite arm spacing には、dendrite の 2 次の枝が 3 つ以上はつきりと見られる dendrite を選び、枝の中心から次の枝の中心までの距離をもつて、測定値とした。

dendrite arm spacing の測定結果を鑄型壁からの距離の関数としてあらわすと、柱状組織では、dendrite arm spacing と鑄型壁からの距離との間に 1 次の関係があることはすでに報告されており¹⁾²⁾³⁾、この測定結果も同じことを確認した。しかし本鋼塊の等軸晶領域では、dendrite arm spacing はほぼ一定の値で、鑄型壁からの距

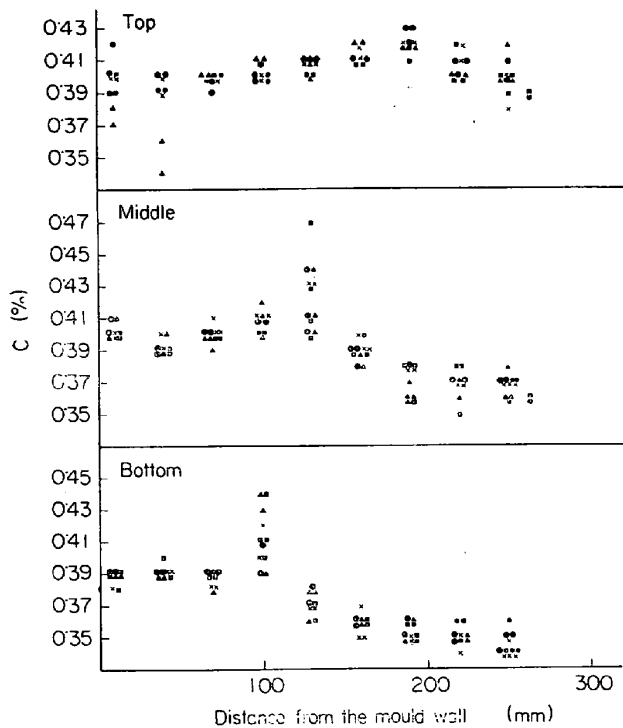


Fig. 2. Change in carbon contents in the ingot with distance from the mould wall.

離に無関係であつた。

次に, dendrite arm spacing と鑄型壁からの距離との関係を両対数グラフにプロットしてみた. dendrite arm spacing を $L(\mu)$ とし, 鑄型壁からの距離を X (mm) とすると $\log L = 1.80 + 0.40 \log X$ となつた. その相関係数は 0.92 であつた.

3.5 平均冷却速度の決定

本実験では, 凝固の変数として, 試験鋼塊の各位置における凝固温度範囲の平均冷却速度を用いた. すなわち凝固温度範囲を, それを通過するのに要した凝固時間で割つた値である.

平均冷却速度は, 鑄型壁より 80 mm の位置では, 5 °C/min, 150 mm の位置ではほぼ 3°C/min, 約 240 mm の位置ではほぼ 1.4°C/min であつた.

3.6 dendrite arm spacing と平均冷却速度の関係

$L(\mu)$ を dendrite arm spacing, R (°C/min) を凝固温度範囲の平均冷却速度とする. 熱電対設定位置近傍の dendrite arm spacing の実測値と平均冷却速度の関係では, 相関係数は -0.87 であり, $\log L = 2.857 - 0.465 \log R$ となる.

dendrite arm spacing と鑄型壁からの距離とを両対数グラフにプロットして得た関係式より推定した熱電対設定位置の dendrite arm spacing と平均冷却速度の関係では, 相関係数は -0.98 であり, $\log L = 2.799 - 0.300 \log R$ となる. この場合, 相関係数が高く信頼できる関係式であるといつてよい. したがつて鋼種 SCM 4 の 4 t 鋼塊ではだいたい $L = 630R^{-0.30}$ の実験式が得られたと結論したい.

100 kg 溶鋼を一端冷却させた小規模実験の場合, $L = 770R^{-0.42}$ であつた³⁾. それゆえ, 小規模実験の結果と実体鋼塊での結果とはかならずしも一致しなかつた.

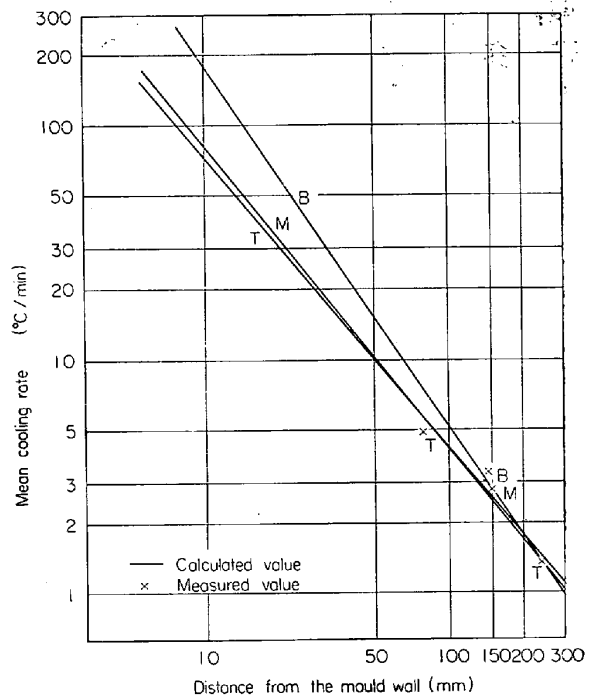


Fig. 3. Calculated mean cooling rate.

両者の相違の原因として, 第 1 に, WINEGARD らがいつているように⁵⁾, $L = (A_1 - A_2 \ln G_L) R^{B_1}$ のような関係式 (A_1, A_2, B_1 は定数, G_L は液体中の温度勾配) が妥当であつて, A, B は定数ではないかもしれないことが考えられる. 第 2 に, FLEMING らがいつているように⁴⁾, 同一鋼種では凝固条件とは無関係に同じ式になるべきであるが, 実験式の精度が悪いため, 両者の実験式に食い違いが生じたかもしれない. いずれにせよ, 正確な関係式を得るには, さらに実験してみなければならない.

3.7 鋼塊内の各位置における平均冷却速度の決定

dendrite arm spacing と鑄型壁からの距離との間の関係式および dendrite arm spacing と平均冷却速度との間の関係式を結びつけることから, 鑄型内の各位置における平均冷却速度を推定してみた. Fig. 3 がそれである.

4. 結 言

以上述べたように, dendrite arm spacing, $L(\mu)$ と凝固温度範囲の平均冷却速度, R (°C/min) と鑄型壁からの距離, X (mm) の間に, 次の関係式が得られた.

- i) $L = 630R^{-0.30}$
- ii) $\log R = 3.33 - 1.33 \log X$

文 献

- 1) M. C. FLEMINGS et al.: Trans. Amer. Found. Soc., 69 (1961), p. 422
- 2) KATTAMIS and FLEMINGS: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 236(1966) 11, p. 1523
- 3) 鈴木, 長岡, 高田: to be published
- 4) BOWER, BRODY and FLEMINGS: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 236 (1966) 5, p. 624
- 5) BELL and WINEGARD: J. Inst. Metals, 92(1963 ~64), p. 357