

しては、軸心部の健全性を高くする効果が期待できる。一方、-15%以下の鋼塊に対しては、bridge 発生位置を低くするにすぎず効果はあまり望めないものと考えられる。

Fig. 3はV偏析の角度と鋼塊の高さとの関係を示す。収縮パイプの生じないA, B, CおよびD型の曲線は、V偏析の下端から位置が高くなるにしたがつて、角度が小さくなり、ある高さで最も鋭角を呈して再び角度を大きくする。この角度の最小値を示す高さで凝固曲線において中期から末期に移行する高さとは一致する。それゆえ、V偏析の角度を示すC曲線の下部は凝固中期の直線部分に、上部は末期の曲線部分に相当する。V偏析の角度は、鋭角であるほど収縮孔をともしない、鋭角であるほど健全であることが、マクロ組織の観察からいえる。また、この角度は鑄型のテーパーとH/Dに左右されると思われるが、本試験ではテーパーの小なるほど鋭角を呈することがFig. 3からわかる。

4. 結 言

- 1) 発熱保温剤を用いた1.5ないし2t鋼塊の縦凝固曲線は、凝固初期の $D = K\sqrt{t} - C$ なる放物線部分、横凝固の加速を受ける直線部分、そして押湯の影響を受ける曲線部、以上3段階に分けられる。
- 2) テーパーが大になるほど直線部分の傾斜がゆるくなり組織は健全性を増す。
- 3) 上注ぎ法ではテーパーが-15% (下広型)付近に収縮パイプを発生しない限度がある。
- 4) 収縮パイプの発生しない鋼塊は成分偏析も良好であり、濃厚偏析帯は押湯内にもみ存在する。一方、パイプの発生した鋼塊は鋼塊本体と押湯の2カ所に濃厚偏析が生じる。

文 献

- 1) 下田, 荒木田: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 935
- 2) J. W. SPRETNAK: Trans. Amer. Soc. Metals, 39 (1947), p. 569
- 3) 守川, 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 44 (1958), p. 9

(69) 鋼塊の押湯の凝固について

(大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察—II)

三菱製鋼, 長崎製鋼所

田代晃一・芳賀三千億・○轟木 透

On the Solidification of Feeder Head of Ingot.

(Study on the solidification and segregation of large steel ingot for forging—II)

Kōichi TASHIRO, Michio HAGA and Tōru TODOROKI.

1. 緒 言

鋼塊の偏析を考えるに当たつてまず第1報にて鋼塊本体すなわち金型部の凝固と偏析の関係について、1, 2の考察を行なつたが、本報告ではさらに押湯の凝固について考えを進めて行くこととする。これは金型部の凝固と同様に押湯部の凝固現象を十分に把握することは、鋼塊

全般の凝固とこれに伴う偏析について、適正な判断を下すに役立つと考えられるからである。この際まづ金型部より分離して砂型 (あるいは断熱耐火材) 中の鋼の凝固現象として独立して考えて行くこととする。

2. 砂型中の鋼の凝固式の誘導

押湯部の凝固を一応砂型内の凝固と考えて取り扱えば、鋼鑄物関係でかなりの凝固に関するデータが得られており、計算を行なうのに便利である。

前報の金型の凝固に際しては、凝固中の鋼塊表面温度、鑄型温度の実測について述べたが、砂型の温度測定に関しては砂が熱伝導度が低く、凝固表面は鋼の凝固温度に近い高温に長時間曝されるために、長時間にわたり正しい測温を行なうことはかなりの困難と誤差が伴うことは論をまたないが、これに関しては実測例¹⁾もあり、また前述の鋼塊表面が長時間かなり高い温度に保たれることが確められている。

一般に砂型に鑄込まれた鑄鋼の熱放出に関しては、ABCOWER²⁾により無限平板の凝固問題として解かれているが、またFOURIERの式を用いても誘導が可能である。これらは次の(3), (4)式の形で与えられ良く実験値とも一致することが知られている。

$W_{(x=0)} = K_s \cdot \theta_u / h_s \sqrt{\pi t} \dots\dots\dots (3)$

$Q = 2k_s \cdot \theta_u \cdot \sqrt{t} / h_s \sqrt{\pi} \dots\dots\dots (4)$

$\theta_u = \theta_B - \theta_s$

ただし $W_{(x=0)}$: 鑄物と砂の境界面における heat flux

Q: 鑄物と砂の境界面の単位面積当たり時間 t までに放出される熱量

K_s : 砂の熱伝導度

h_s^2 : 砂の温度伝導度

θ_B : 鑄物と砂の境界面温度

θ_s : 初期砂型の温度

ここで θ_B は前述のごとく一定と仮定したが、これは計算によつても確めることができる。すなわち溶鋼の過熱および凝固殻内外の温度差が少ないからこの部分の含熱量変化を無視すると、外部へ移行する熱源は凝固熱のみとなり(3), (4)式を利用して θ_B は変数 t, δ を含まない2次式として次のごとく表わし得、凝固中は一定値となることがわかる。(計算省略)

$(\theta_B - \theta_s)^2 - (\theta_m - \theta_B) \cdot K \cdot A \cdot \rho \cdot h_s^2 \cdot \pi / 2 K_s^2 = 0$

ただし θ_m : 溶鋼の凝固温度

K: 凝固鋼の凝固点近傍の熱伝導度

A: 鋼の凝固熱

ρ : 比重

以上より砂型平面の凝固に関しては、金型の場合と同様に凝固殻の表面温度を一定と考えて差し支えないことが明らかになり、金型における無限平板の凝固式(2a), (2b)が係数を変えることにより応用できる。また円柱の場合も平板と同様に、凝固表面温度はほぼ一定となることが示されているので、前報の金型の凝固式(1c), (1d)が利用できる。

さらに砂型では凝固殻内外の温度差が少ないので含熱量変化の項は無視しても大過なく、砂型における係数を求めるため鋼鑄物の凝固測定を行なうと同時に、特に2t砂型鋼塊についても凝固の測定を行なうと共に、鋼塊を縦断し偏析の調査を行なつた。

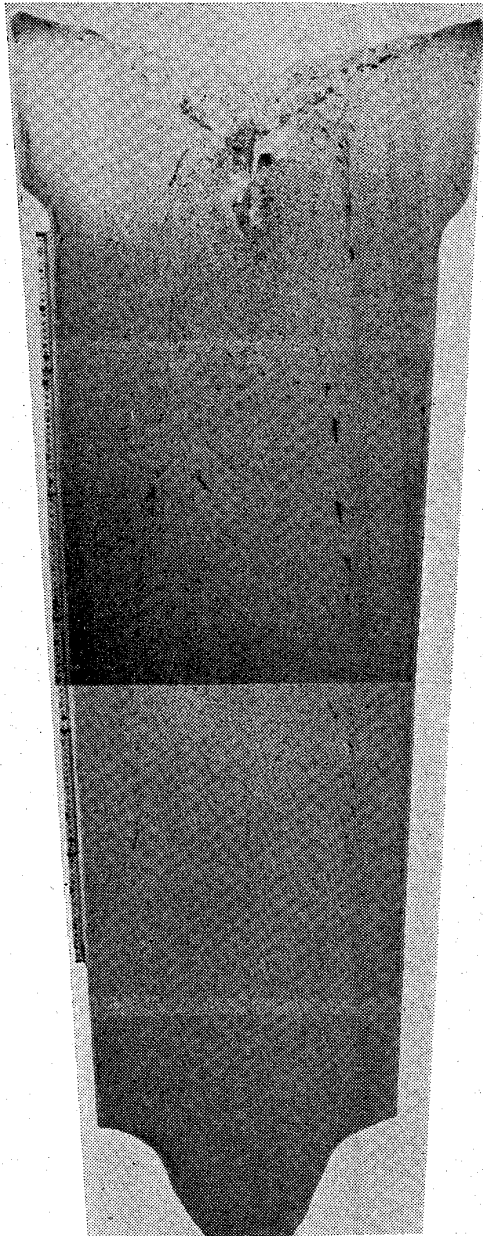


Photo. 1. Sulpher piint of 2t ingot cast in sand mould.

3. 2t 砂型鋼塊の縦凝固速度の測定および A, V 偏析の調査

砂型鋼塊としての供試材は C : 0.33% の炭素鋼で重量 2 t, 高さ 1,600mm, 本体平均直径 460mm, テーパー 10% で珪砂砂型に铸込んだものである。本実験でも従来行なってきた方法で bar test を行ない, 铸込後の縦凝固高さを測定しその結果を Fig. 1 に示す。また鋼塊縦断面の sulphur print を Photo. 1 に示す。

これより鋼塊上下部の影響の最も少ないと考えられるおよび中央高さ ($h=900\text{mm}$, $R=475\text{mm } \phi$) における凝固時間は, 2.33 hr であり, 前報(1d)式を利用することにより $\alpha_{\text{sand}}=344$ を得る。すなわち, この砂型鋼塊の横凝固および凝固速度は次式で表わされる。

$$t = 333 \left\{ \frac{1}{2} \delta^2 + R\delta + 2R^2 \ln \frac{(2R-\delta)}{2R} \right\} \dots (5)$$

$\delta = R$, すなわち軸心まで凝固が完了する場合

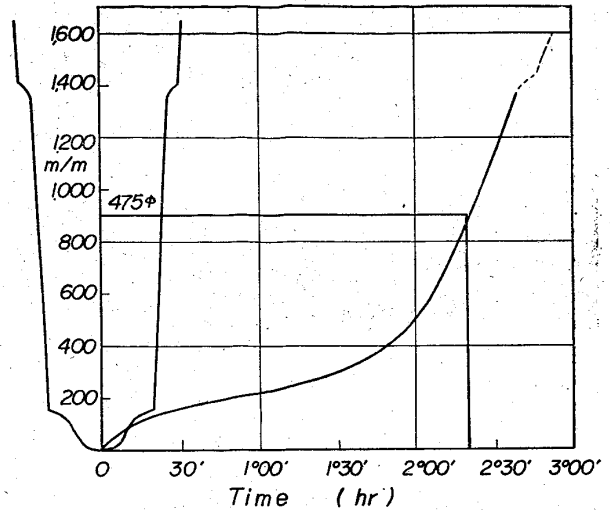


Fig. 1. Vertical solidification curve of 2t ingot cast in sand mould.

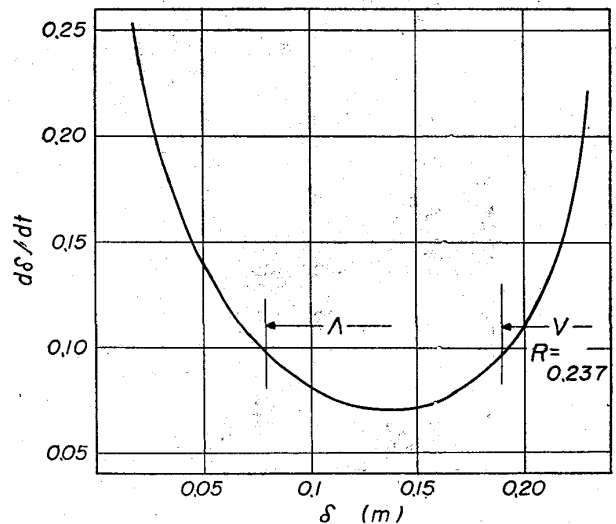


Fig. 2. Rate of horizontal solidification.

$$t = 41.28 R^2 \dots (5')$$

また凝固速度 $d\delta/dt$ は

$$d\delta/dt = (2R - \delta) / 344 \times \delta (R - \delta) \dots (6)$$

(5), (6) 式により前述の位置における横凝固曲線(省略), および横凝固速度曲線を Fig. 2 に示す。これに sulphur print により得られた A, V 偏析の位置を併記したが, 砂型においても凝固殻の先端の凝固速度が 0.1m/hr 前後に達して始めて A 偏析が発生し始めており, 前報で示した金型の場合とおよそ同一の条件であることが確認された。V 偏析はやや上部にわずかに認められるだけで他は痕跡程度で明瞭には現われていない。円筒形における軸心までの凝固時間を金型における(1d')式と砂型における(5')式について $R = K\sqrt{t}$ の係数を比較すると, 金型は砂型の約 1.8 であり, 従来考えられている 2.0 倍³⁾ より若干小さい値が得られたが, これは当所の鋼铸件で得られた値にほぼ一致する。

一般に金型の A 偏析は中型鋼塊以上(鋼種によつて異なるが, C 0.3% 程度の炭素鋼では鋼塊径がおよそ 600 mm ϕ 以上) で現われ, 小型鋼塊では前報のごとく横凝



Photo. 2. Sulphur print of feeder head of 6t ingot.

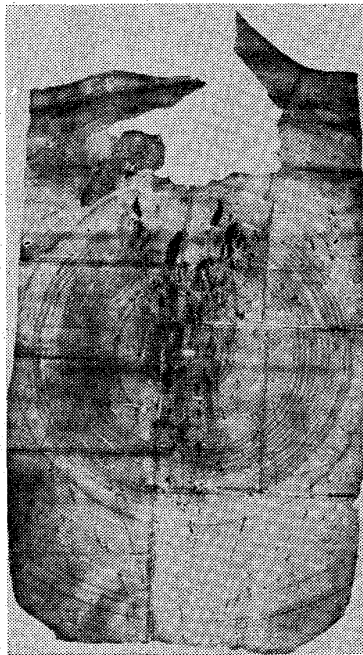


Photo. 3. Sulphur print of feeder head of 33t ingot. (Forge ratio: 2.1)

Table 1. Analyses of sulphur print.

| | C (%) | P (%) | S (%) |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Ladle | 0.27 | 0.016 | 0.007 |
| Pock mark segregation | 0.54 | 0.102 | 0.126 |
| Top segregated zone ① | 0.46 | 0.024 | 0.017 |
| ② | 0.46 | 0.026 | 0.027 |

固が全般に早く、凝固先端の凝固速度が A 偏析の発生上部限界 0.1m/hr 以下になり得ないため、A 偏析を生じることがないと考えられる。しかるに砂型鋼塊では小型でも前述のように横凝固速度が著しく低下するので当然 A 偏析が発生するはずである。一般に砂型鑄物では鑄物の表面下 50~60mm 程度付近にいわゆる長い streak 状の A 偏析とはやや様相を異にするが、A 偏析の萌芽とも考えられる凝固中心に向つてやや傾いた上向のカスリ状の偏析帯を認め、場合によつてはこの偏析は金型同様に明瞭な streak を示す場合も多々見受けられる。また砂型の寸法の大なる場合はこの偏析帯は内部に入るにしたがつて次第に消失し、さらに中心近くになつて再び現

われる場合もあるが、後者が明瞭に現出する場合は少なく、不明瞭なまま V 偏析帯に移行する。

4. 押湯部における偏析

押湯部における偏析は多くの文献に見られるように、主として頂部における C, P, S などの偏析成分に富化された頂部偏析帯と A 偏析痕を主体とするが、頭部加熱あるいは保温法を変化した場合、Photo. 2 の 6t 鋼塊、Photo. 3 の 33t 鋼塊の押湯部の sulphur print などに見られるような頂部偏析帯に加えて極めて偏析の著しい塊状またはアバタ状の偏析 (以下これをアバタ状偏析と仮称する) が認められる。Table 1 に Photo. 3 のアバタ状偏析部およびその周辺の分析値をこの鋼塊の取鍋分析値と対比して示すが、いかにアバタ状偏析部に多量の不純物を含むか明瞭である。

これらのアバタ状偏析の成因は V 偏析の成因と密接に関連すると考えられるので後報の V 偏析の項に譲りたい。

5. 結 言

本報では第 1 報に次で砂型の凝固式を誘導し金型と同形式の凝固式となることを示した。さらに偏析の状態も金型の場合と同様 A および V 偏析の発生が見られ、特に A 偏析の生成の条件は金型の場合と同じく凝固端の凝固速度に支配されることを示した。また金型鋼塊の押湯部においてアバタ状偏析の存在することを示した。

文 献

- 1) NCHWORINOFF: Giesserei, 10 (1940), p. 177
- 2) ABCOUWER: Presented at A. F. S. International Foundry Congress in 1952
- 3) Robert WLODAWER: Die gelenkte Erstarrung von Stahlguß, p. 3~4, [Giesserei-Verlag GMBH/Düsseldorf]

(70) A 偏析の生成に関する基礎実験

(大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察—III)

三菱製鋼, 長崎製鋼所 田代晃一・荒木良平

○芳賀三千億・轟木 透・大賀栄次

The Model Experiment Connected with the Formation of A Segregation.

(Study on the solidification and segregation of large steel ingot for forging—III)

Kōichi TASHIRO, Ryōhei ARAKI, Michio HAGA, Tōru TODOROKI and Eiji ŌGA.

1. 結 言

第 I 報および第 II 報で金型と砂型とによる凝固と、これに伴つて生じる偏析について述べたが、これらを総括して鋼塊に発生する諸種の偏析を大別すれば次の通りである。すなわち

- (1) A 偏析帯における streak 状あるいはカスリ状
- (2) V 偏析
- (3) アバタ状偏析
- (4) 頂部偏析帯

この他に、上述の正偏析とは逆の、一般に沈殿晶とし