

4.2.2 品 種

品種によつてパイプ発生率の高いものと低いものがあるが、倒立装入はパイプ発生率が高い品種に特に効果が認められる。(パイプ発生率の高い品種は、一般に脱酸度が強いかまたは鋼塊から製品への鍛錬比が小さいかのどちらかである。

4.2.3 倒立装入材の適正脱酸度

試験結果から脱酸度が弱い場合に倒立装入を行なつてもパイプは減少しないので、倒立材の適正脱酸度は一般に正立材よりも強くしたほうがよいようである。倒立材の脱酸度を強くすることは脱酸不足によつて鋼片または製品に出現する表面疵を減少させるという点からも好ましいと思われる。

4.2.4 均熱炉形式

倒立鋼塊の頭部の酸化防止という点からは炉床にコークブリーズを散布しない炉とか、炉床の温度が天井より高い炉は好ましくないと思われる。しかしながらこれらの炉でも倒立装入によりスカムまたはスケールのパイプ内流下防止の点からは効果があると思われる。

4.3 倒立装入を実施する場合の作業的問題

倒立装入を実施する場合の最大の問題点はトラックタイムの延長することである。品質上、倒立装入を行なう場合の鋼塊の凝固程度は正立装入を行なう場合よりも進行しているのが望ましいので、トラックタイムが延長するわけである。この場合の鋼塊倒立は製鋼、分塊のどちらでも可能であるが、トラックタイムを延長させないためには分塊で行なうのが望ましい。

5. 結 言

セミキルド鋼塊の内部欠陥が鋼片または製品に出現するのを防止するため均熱炉において鋼塊の倒立装入を実施した結果次のような結論が得られた。

1. 工場試験を実施し倒立装入を行なえば鋼片または製品パイプが減少する鋼種があることがわかった。
2. 効果のある鋼種について実際作業に倒立装入を適用した結果、製品パイプ発生は著しく減少した。
3. 倒立装入の効果、倒立装入の実施条件、作業上の問題点について考察を加えた。

(125) 大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察

(丸型鋼塊の金型部の凝固について—I)

三菱製鋼, 長崎製鋼所

田代 晃一・芳賀三千億・○轟木 透

Study on the Solidification and Segregation of Large Steel Ingots for Forging.
(On the solidification of chilled parts of round ingots—I)

Koichi TOSHIRO, Michio HAGA and Tōru TODOROKI.

1. 結 言

鋼塊の偏析を解明するに当つて、これと密接に関連する鋼塊の凝固状態を十分に把握することが必要であることは論を俟たない。この意味でまず鋼塊を金型部および押湯部(断熱部)に大別しこれらの凝固について調査を行ないその結果を鋼塊の偏析と関連させて考察して行く

こととした。まず第1報としては鋼塊本体すなわち金型部の凝固に関し考えてみることにする。鋼塊の凝固に関しては今日までかなり多数の研究が発表されているがこれらの研究は主として鋼塊の凝固完了時間を主体に取扱つており、凝固過程における凝固殻の生成状況に関しては殆んど触れていない。著者らは大型鋼塊に発生する内部欠陥特に逆V, V偏析などの欠陥が凝固先端の凝固速度と関連があるのではなからうか、との見解よりまず手始めとして大型鍛造用鋼塊について Bar. Test 法, あるいは I. M. MACKENZIE¹⁾ が行なつた方法による鑄型の温度分布の測定, 更に接触型温度計あるいは光高温計による凝固過程中的鋼塊表面温度の測定などの実測を行なうと共に、河合ら²⁾ により考案された凝固式を一部補正して新たに凝固式を誘導し実測値と結合して横凝固, 縦凝固の実験式を求め, 2, 3 の考察を行なつた。

2. 凝固式の誘導

鋼塊の凝固に関してはその形状によりいろいろ異なる凝固式が与えられるはずであるが、ここでは鍛造用鋼塊を主体として考え、底部の定盤のみにより行われる縦方向の凝固(いわゆる縦凝固とは異なる)と、鑄型への伝熱を主体として行われる横方向の凝固(横凝固)の二つに分けて考えることにする。もちろん、鍛造用鋼塊があるので横凝固は円筒と考え計算を行なうことにする。

2.1 横凝固式

今鋼塊形状を半径Rの無限円筒として熱の移行は水平方向のみと考え、溶鋼の過熱, 過冷を無視した場合は、任意時間における凝固厚さδを有する凝固中の鋼塊において、更に dδ の厚さが凝固する際は、凝固熱およびδ部分の含熱量変化が鑄型を通して外部へ放出されることになる。この状態において凝固層 dδ の凝固熱を dQ₁ とすれば

$$dQ_1 = 1.07 \gamma_L \cdot 2\pi (R - \delta) \cdot A \cdot l \cdot d\delta \dots (1)$$

ただし γ_L : 溶鋼の比重, A: 凝固の潜熱, l: 円筒の任意長さ, $1.07 \gamma_L$: 凝固点における固相の比重 = γ_s , R: 鋼塊の半径。

次に凝固殻δ内に含まれる含熱量も凝固殻の厚みと共に変化し、その一部は外壁を通して鑄型に放出されることになるが、この項を計算に入れることは極めて式を難解にするのでここでは一応無視して計算を進めることにする。鋼塊の凝固過程においては凝固速度が極めて早い表層部および中心部の凝固時を除外すれば熱伝導の速度に比べ凝固殻の厚さδはそれ程急激に変化するものではないからこの過程ではδを通じての放熱は定常流に近いと考えてよからう。一方肉厚管の定常流の伝熱方程式として次式が知られている。

$$dQ = \frac{K \cdot \Delta T \cdot 2\pi \cdot l}{\ln R/R - \delta} dt \dots (1a)$$

ただし dQ; δ を通して dt 時間に流れる熱量, ΔT = T₁ - T₂, T₁; 凝固点, T₂; 表面温度(一定), k; 凝固層の平均熱伝導率また dQ は δ があまり厚くない間は近似的に次式で表わされる

$$dQ' = \frac{K \cdot \Delta T \cdot 2\pi \cdot l \{R + (R - \delta)\}}{\delta} dt \dots (1b)$$

したがつて dQ' = dQ₁ であるべきなので次式が成立する

$$dt = 2.14 \times \frac{A \cdot \gamma_L}{K \cdot \Delta T} \times \frac{\delta(R - \delta)}{2R - \delta} d\delta$$

2. $14 \times A \cdot \gamma_L / K \cdot \Delta T = \alpha$ とおき積分すれば

$$t = \alpha [1/2 \cdot \delta^2 + R\delta + 2R^2 \ln(2R - \delta) / 2R] \dots (1c)$$

したがって $\delta = R$ すなわち中心まで凝固に要する時間と R の関係は

$$t = \alpha \times 0.12 R^2 \dots (1d)$$

で表わされることになる。

2.2 底部凝固式の誘導

横凝固の場合と同様な条件で、すなわち熱移行は純粹に縦方向のみ行われ、過熱、過冷は無視し任意時間 t における凝固厚さ δ を有する凝固中の鋼塊で更に $d\delta$ だけ凝固が進む時、凝固熱および δ 部分の含熱量変化が定盤を通して放熱されると考え、単位面積について計算を行なうと

$K \cdot \Delta T / \delta \cdot dt = 1.07 \times d\delta \times A \cdot \gamma_L + \Delta T / 2 \cdot \gamma_s \cdot C_s \cdot d\delta$ が成立する。これを積分すると

$$t = (1.07 \times A \cdot \gamma_L + \Delta T / 2 \cdot \gamma_s \cdot C_s) \times \delta^2 / 2K \cdot \Delta T \dots (2a)$$

$(1.07 \times A \cdot \gamma_L + \Delta T / 2 \cdot \gamma_s \cdot C_s) \times 1/2K \cdot \Delta T = \beta$ とおけば

$$t = \beta \delta^2 \dots (2b)$$

この式はまた扁平度の大きな扁平鋼塊の凝固式として利用できる。

3. 鋼塊の縦凝固速度および表面温度の測定

3.1 Bar test による鋼塊の縦凝固速度の測定

鋼塊の横凝固については前述のように凝固方程式により表わし得るが、いわゆる縦凝固式は底部凝固以外は実測によらざるを得ない。本実験でも従来行われてきた方法とおおよそ同じ方法により、鋼塊の鑄込完了後所定の時間々隔で鋼塊中心部に 15mmφ の研磨された Steel Bar を突込み、Bar が中心から外れないように Guide pipe を使用し 13T, 19T, 35T 鋼塊の縦凝固高さを測定し Fig. 1 にプロットした。縦凝固には鋼塊底部形状が影響すると考えられるが、19T は扁平底であり 13T 下部直径と同一であるが両者の初期の縦凝固曲線は重なり合っており、この点問題はないものと思われる。いずれの場合においても縦凝固曲線は、

- i) 初期において底部凝固が優先する部分
- ii) 中期において底部凝固速度が拋物線的に急激に

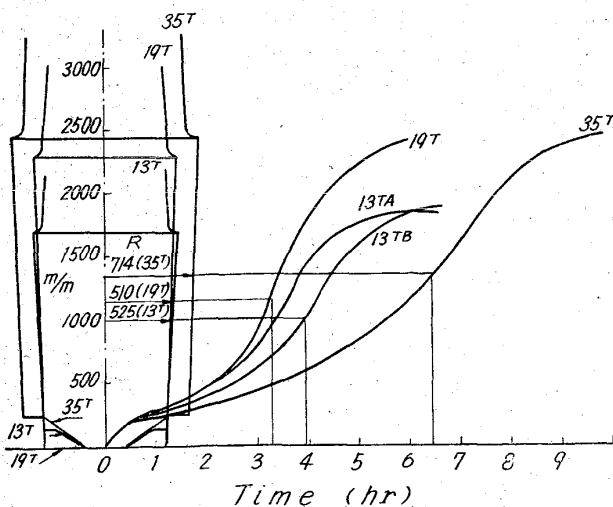


Fig. 1. Vertical solidification curves of several ingots.

減少し横凝固が優先し鋼塊のテーパーなどの影響により直線部を構成する部分

iii) 後期において押湯の影響により再び凝固速度が減少する部分。

以上の3部に別けられる。いずれの鋼塊も (i) の部分はかなり近似した曲線を示しこれは定盤による縦方向の冷却が優先していることを明示している。

3.2 凝固中の 35T 鋼塊の表面温度と鑄型の温度分布の測定

鋼塊の高さ中央付近においては下部冷却、および上部の押湯の影響が少ないので、この点における凝固中の鋼塊表面温度を鑄型にセットした測温用プラグにより測温を行なつた。鑄込終了後鑄型、鋼塊間に空隙ができるため絶えずプラグはねじ込みを行ないその先端は鋼塊に常に密着せしめた。また鑄型温度分布測定用のプラグは鑄型と同じ材質の鑄鉄を使用し、プラグと鑄型の接触面には油練り黒鉛粉末を使用した鋼塊底部温度も同様にして測温し温度分布を調査した (図省略)。ここでプラグによる鋼塊表面温度の測定は、プラグの熱伝導による熱損や、接触による誤差が考えられるので実験的にチェックを行なつた所、プラグによる測温値は真温度に対して約 40°C 低目に現われることを知つた。以上の値を補正して鋼塊表面温度は凝固完了までの約6時間はおおよそ 1000°C と固定して考えて大過ないものと思われ、前述の計算で仮定した事項を確認した。

4. 誘導式と実測値を対比しての考察

4.1 横凝固

Fig. 1 に示した縦凝固曲線より求められる鋼塊高さの中央部の凝固時間の平方根に対して半径をプロットし (図省略) この直線の勾配を求めることにより誘導式 (1d) の α を求めれば $\alpha = 106$ を得る。よつて (1c) (1d) 式は

$$t = 106 [1/2 \delta^2 + R\delta + 2R^2 \ln(2R - \delta) / 2R] \dots (1c)'$$

$$\text{中心の凝固完了時間は } t = 12.7 \times R^2 \dots (1d)'$$

ただし t は hr, R, δ は m で示す。R=714mm (35T) の t- δ 曲線を上式により求めると Fig. 2 のごとくなる。

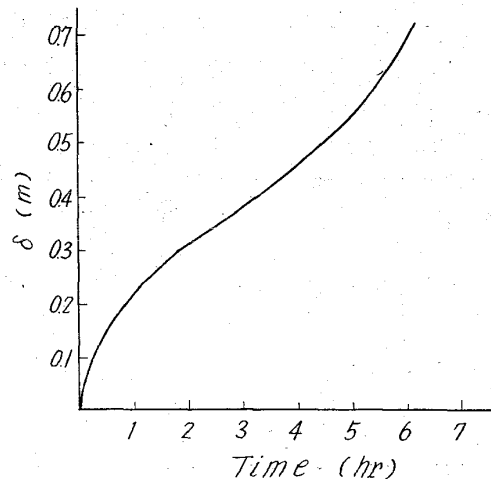
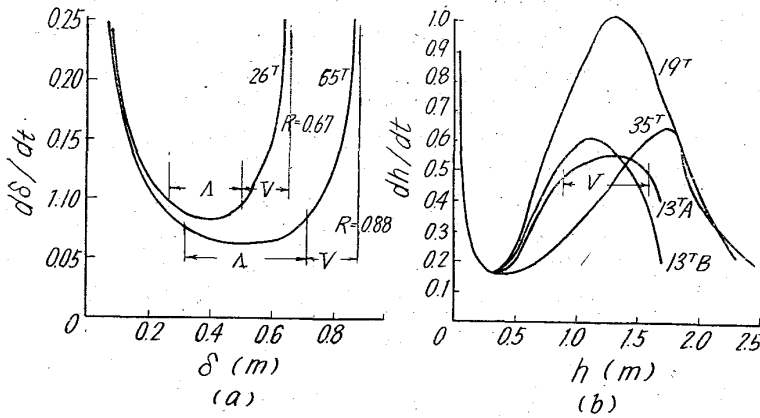


Fig. 2. Relation between the time from the beginning of the solidification and the thickness of the shell of round ingot.



a) Horizontal solidification. b) Vertical solidification. Fig. 3. Rate of solidification.

4.2 底部凝固

先に誘導した底部凝固式 (2b) に関して横凝固の場合と同様の手法により各鋼塊について初期の底部凝固が優先する部分で、 δ と \sqrt{t} に関してプロットし (図省略) これより 1~1.5 hr における平均勾配として 0.27 を得る。よつて $\beta=13.7$ が得られ求める実験式は

$t=13.7\delta^2$(2b)' となる

ただし t は hr, δ は m で示す。また底部よりの冷却は鑄型の冷却に比べてかなり強いが、この冷却も平面の冷却であるため急激に減衰する点よりいわゆる底部冷却には余り大きな期待はできないであろう。

5. 実験式の検討

以上の結果の中で底部凝固式に関しては計算上の問題は殆んど無いと思われるが、横凝固式に関してはかなりの省略並びに仮定を行なつていたので、計算式に既知の常数を代入した場合大きな矛盾を生ずるか否かを確かめたが、何れも常識的な値が得られ、また J. SCHNICWIND²⁾ が計算により求めたものと概念的によく一致する点よりこの式はほぼ妥当な凝固式を表わしていると考えられる。

6. 凝固速度と偏析の関係

以上の結果より鋼塊の凝固状況の概要が把握できたのでこれらの結果と偏析の関係について考えてみたい。

まず横凝固速度は次式により与えられる。

$d\delta/dt=(2R-\delta)/106 \times \delta \cdot (R-\delta)$

鋼塊平均半径 670mm, 884mm について δ に対する横凝固速度を上式より計算しプロットしたものを Fig. 3a に示した。これには C 含有量約 0.35% の鋼塊縦断面のサルファープリントにより得られた逆 V, V 偏析の位置を併記したが、逆 V 偏析は凝固速度がかなり低下したある値に到達すると現われ始め、凝固が軸心に近づくにしたがい再び凝固速度が増加するにつれて消失し、今度は V 偏析が現われることを示している。また縦凝固カーブより凝固高さ h に対して縦凝固速度 dh/dt を各鋼塊についてプロットし Fig. 3b に示した。特に 13^T 鋼塊について V 偏析の位置を併記したが、縦凝固が後半増加する位置で、V 偏析が現われることを示している。上述の事項は今後更に実験を進めて両者の関係を確かめる必要があるが、両者の間に大きな関係が有することが想像できる。次報にはこれらのことを基礎にして鋼塊に

生じる偏析の成因について考察を進めて行く予定である。

7. 結 言

i) 計算による誘導式に実測値を適用することにより鋼塊高さ中央部の横凝固式として近似的に下記の式を得た。

$t=106[1/2\delta^2+R\delta+2R^2\ln(2R-\delta)/2R]$

$t=12.7 \times R^2$

ただし本式は鋼塊本体の凝固完了を示すものではない。鋼塊本体の凝固完了はテーパおよび押湯の影響があり、上式で求めた値よりかなり時間的に長くなるはずで本式は適用できないが、本体上部表面温度を同様に測定すれば、適用式の誘導が可能になるがこれらは押湯方法によりかなり差異を生ずることは論を俟たな

い。

ii) 凝固速度とサルファープリントによる鋼塊の偏析パターンを比較検討して、横凝固速度がある限界値に到達すると逆 V 偏析が現われ始め、中心部で再び横凝固速度が上昇し始めてさらに縦凝固速度も早くなると V 偏析が現われてくると考えられる。

iii) 鋼塊底部における縦凝固式は

$t=13.7 \times \delta^2$ で表わされる。

文 献

- 1) J. Iron & Steel Inst. (U. K.), Sept (1950) 19
- 2) 鉄と鋼, 昭 24 37 回講演
- 3) J. Iron & Steel Inst. (U. K.) July (1963), p. 594

(126) スtringゴーストに関する 2, 3 の観察

北海道大学工学部

工博 萩原 巖・工博○高橋 忠義

Some Considerations on Formation of String Ghost.

Dr. Iwao HAGIWARA

and Dr. Tadayoshi TAKAHASHI.

1. 緒 言

大型鋼塊に見られる Δ 状ゴーストの生成原因については、これまでに多くの研究者によつてそれぞれの見解が提出されている。近年河合氏¹⁾によつても詳細に論じられている。

本研究は 75t 鋼塊からゴースト線を含む部分を切り出し、これを主として Oberhoffer 試薬による腐食にて、ゴーストを中心にデンドライト結晶の発達状況などを立体的に観察した結果をもとにして、その生成機構の一端を推論するとともに、さらにすでに一部発表した Al-Cu 合金における凝固区間内重力偏析の実験²⁾において、前記の推論を立証する現象が見出されたので、その結果とあわせて Δ 状偏析の生因に関してあらたに一見解を提示するものである。

2. 実験方法

75t アルミキルド鋼塊 (日本製鋼所提供) の 2/3 高