

圧力がかかっているため初期にはガスが放出されない。時間が経過するにつれて押湯の圧力は弱まり、この時期は前例の円錐形よりも遅く湯の流動性が低下しているので一個所には集合せず、鋼塊頭部および周囲の固相と液相の境界に気泡を生成する。その後冷却は気泡を避けて進行するので収縮孔は花形となる。この収縮孔は頭皮は厚く外気と通じた様子は見られない。

3. 2 段形収縮孔を形成する場合

2 段形は発生本数が少ないが出鋼温度が他に比べ低いことから、鑄込温度の低い場合は湯上り中にクラストを捲込みこの形状の収縮孔を形成すると思われる。

以上の結果から各形状の優劣を判定すると、花形は押湯も十分に効きパイプ長さも短かくまた外気と通じていないため無酸化であるからもつとも良く、円錐形は通常は異常がないが、パイプ長さは長く頭皮は薄いのでこれが大きく破れた場合は内部酸化がはなはだしくなり、製品に悪影響をおよぼす懸念がある。2 段形は2 次パイプを生じもつとも劣るものと思われる。

V. 結 言

以上の調査を通じてベータトロン透過撮影により鋼塊収縮孔形状を調査する方法はきわめて有効な手段であるといえる。また本研究においてはこの外 γ 線透過量による収縮孔形状判定、各鋼塊の見掛比重の測定を行なったがこれに関しては紙数の都合上割愛した。

(90) 電子計算機による鋼塊の凝固、冷却過程における温度計算について

日本鋼管技術研究所 千原完一郎

Temperature Computation in the Processes of Solidification and Cooling of Ingots by an Electronic Digital Computer.

Kanichiro CHIHARA

I. 結 言

分塊用大型鋼塊の鑄込後の凝固完了範囲、温度分布などを知ることは生産能率、品質向上などのため合理的な生産工程を決定する上にきわめて重要であり、電子計算機により計算で求める方法が確立できればこの目的のみならず均熱炉での再加熱過程、鑄型設計などへの応用も可能と考えられる。ここに電子計算機による 16 t 転炉鋼塊についてその概要を報告する。

II. 鋼塊および

鑄型の形状、成分、物理常数

鑄込後の凝固、冷却過程の温度計算および実測を行なった鋼塊および鑄型の形状、成分、物理常数などを示す。

1. 形 状

鋼塊および鑄型の形状を Fig. 1 に示す。

2. 成 分

この鋼塊はメカニカルキャップ付のリムド鋼で、また鑄型は普通鑄鉄である。

それぞれの成分を Table 1 に示す。

Table 1. Chemical composition of steel ingots and moulds.

Composition (%)	Composition (%)				
	C %	Si %	Mn %	P %	S %
Ingot	0.19	—	0.41	0.035	0.018
Mould	4.0	1.4	0.6	0.18	0.06

3. 物理常数

(1) 密 度

鋼塊および鑄型の密度は、温度による変化を求め、これらの平均値としてつぎのごとき値を採用した。

鋼塊 7.5 g/cm^3 、鑄型 7.1 g/cm^3

(2) 単位質量当たりの含熱量

鋼塊および鑄型の単位質量当たりの含熱量は、これらの成分に近い鋼および鑄鉄の含熱量の変化状態より、外挿および内挿により求めた。

(3) 熱伝導率

鋼塊および鑄型の熱伝導率もこれらの成分に近い鋼および鑄鉄の熱伝導率の変化状態より求めた。

(4) 有効輻射率

各温度における鋼塊および鑄型の輻射率は、両者ともに同一として、これらの角関係から計算により求めた。

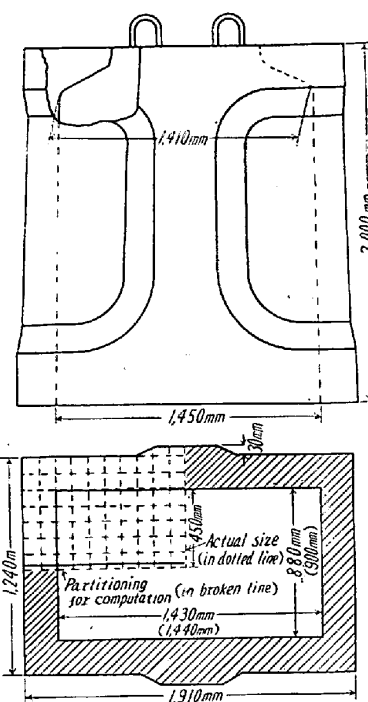


Fig. 1. Actual size and partitioning for computation of ingots and moulds.

III. 計算のための近似方程式

鋼塊の鑄込後の凝固、冷却過程は、実際には 3 次元的に進行するが、鋼塊の中央部付近のみを対象としたときには、2 次元と仮定しても大差がないと考えられる。したがってこの計算では中央部付近のみを対象に、上下方向の影響を無視して、2 次元として取扱った。つぎに計算に用いた近似式について説明する。

1. 熱伝導の基礎方程式

不定常な熱流の偏微分方程式は、温度変化に対して物体の熱的性質が一定ならば、2 次元においてはつぎのようになる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ただし $D = \frac{K}{c\rho}$ K : 熱伝導率, c : 比熱
 ρ : 密度

しかし熱的性質が変化する場合にはつぎのような変換をする。

$$\phi = \int_{\theta_d}^{\theta} \frac{K}{K_d} d\theta \dots\dots\dots (2)$$

ただし K : 温度 θ における熱伝導率
 K_d : 任意の基礎温度 θ_d における熱伝導率

(1) 式を (2) 式を用いて書きなおすと、

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D(\phi) \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

となるが $c = \partial H / \partial \theta$ なる関係を用いてもう一度書きなおすとつぎのようになる。

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K_d}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (4)$$

ただし H : 伝導物質中での単位重量当たりの熱容量

2. 差分方程式

以上の基礎方程式に基づき実際の数値計算を行なうため (4) 式を Taylor 展開して差分近似方程式になおすとつぎのようになる。

$$H_{m, n, r+1} = H_{m, n, r} + \frac{K_d \Delta t}{\rho (\Delta x)^2} \times (\phi_{m+1, n, r} + \phi_{m-1, n, r} - 2\phi_{m, n, r}) + \frac{K_d \Delta t}{\rho (\Delta y)^2} (\phi_{m, n-1, r} + \phi_{m, n+1, r} - 2\phi_{m, n, r}) \dots\dots\dots (5)$$

ただし $m-1, m, m+1$: x 座標における連続した点

$n-1, n, n+1$: y 座標における連続した点

$r, r+1$: 時間のディメンションで時間 t と Δt 離れた時間、しかし表面温度に対しては x 軸および y 軸方向への heat flux を W, W' として次式を用いる。

$$H_{m, n, r+1} = H_{m, n, r} + \frac{2K_d \Delta t}{\rho (\Delta x)^2} \times \left(\phi_{m+1, n, r} - \frac{W \Delta x}{K_d} - \phi_{m, n, r} \right) + \frac{2K_d \Delta t}{\rho (\Delta y)^2} \left(\phi_{m, n-1, r} - \frac{W' \Delta y}{K_d} - \phi_{m, n, r} \right) \dots\dots\dots (6)$$

3. 初期条件

計算に必要な初期条件の溶鋼を注入したときの鑄型内の溶鋼の表面温度および鑄型の内面温度は次式より求める。

$$\sqrt{\frac{K_m \tau}{C_m \rho_m}} \cdot C_m \rho_m \delta \theta_m = \sqrt{\frac{K_s \tau}{C_s \rho_s}} \cdot \rho_s (C_s \delta \theta_m + L) \dots\dots\dots (7)$$

ただし τ : Δt より充分短かい時間、

- K_m : 鑄型の熱伝導率 C_m : 鑄型の比熱
- ρ_m : 鑄型の密度 K_s : 鋼塊の熱伝導率
- C_s : 鋼塊の比熱 ρ_s : 鋼塊の密度
- L : 鋼塊の溶融の潜熱 $\delta \theta_s$: 鋼塊の凝固温度
- $\delta \theta_m$: 鑄型の最初の温度

IV. 電子計算機による計算の方法

電子計算機によつて実際に鋼塊の凝固、冷却過程の温度計算を行なうにはつぎのような手順による。

1. (3) 式により、あらかじめ作成してある鑄型および鋼塊の熱伝導率の曲線から、 ϕ を θ の関数として、また温度と含熱量の関係から H を θ の関数として表わす。
2. 適当な Mesh, size, Δx および Δy を決める。この $\Delta x, \Delta y$ に応じて適当な Δt を決める。
3. (7) 式により溶鋼を鑄込んだ直後における鑄型内の溶鋼の表面温度および鑄型の内面温度を決定する。
4. 3. で求めた $t=0$ における溶鋼の表面温度および鑄型の内面温度によりその時の ϕ, H などを求め、それらを用いることにより、各点におけるその時間よりも Δt だけ経たした時の同じ座標における H がわかり、さらにその H より温度 θ がわかる、他の点においても同様な計算をくりかえして行くと、 Δt だけ経つた時の各座標での鋼塊および鑄型の温度 θ がえられる。
5. つぎに $2\Delta t$ だけ経つた時の各座標での温度は同様にして求めて行くことができる。

以上のごとく各座標点での電子計算機による計算手順は flow chart によつて示され、それにしたがつて進められる。

V. 計算値と実測値との比較および実用性

以上に述べたような方法により、Fig. 1 に示した形状の鋼塊について、鑄込後の温度過程を計算したときの

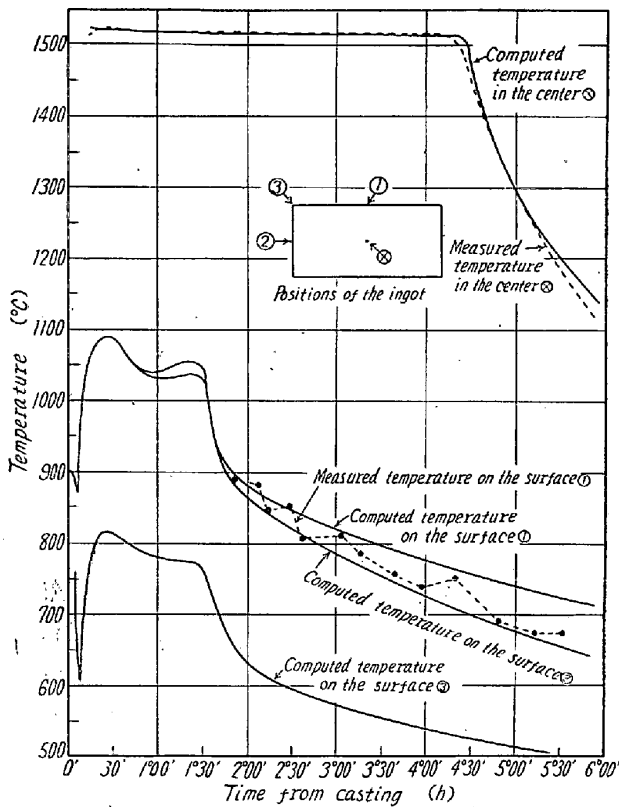


Fig. 2. Time/temperature curve found by computation and measurement with the ingot.

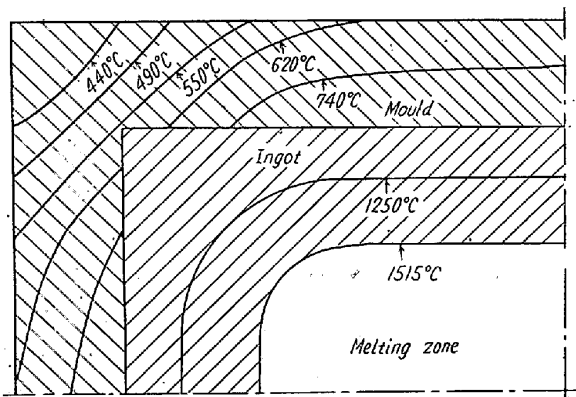


Fig. 3. One example of temperature distribution in the ingot and the mould. (1.5 h after casting by computation)

中心部および表面の3カ所の変化を Fig. 2 に実線で示す。同図には同じ鋼塊について、中心部は白金熱電対により、また表面はランド表面温度計により、測定した結果を比較のために点線で示す、図において中心部の計算値と実測値とを比較すると、凝固完了時間はいくぶん異なっており、その後の冷却過程でも最大 40°C 程度の差が認められる。このような差は物理常数、境界条件などを補正しさらに計算をすることによつて少なくなるこ

が考えられるが実用上はこの程度でも充分と見られる。なお計算では任意の時刻における鋼塊および鑄型の温度分布が求められるがその一例を示すと Fig. 3 のようである。

IV. 結 言

鋼塊中心部における凝固完了時間、凝固後の温度降下、型抜き後の表面の温度降下は計算値と実測値とはほぼ一致した。また計算によると鑄込後の鋼塊の凝固完了範囲、鋼塊および鑄型の温度分布などの推移が求められ形状、作業条件などの異なつた任意の場合に応用ができ、この方法は造塊作業、トラックタイムなどを合理的に決定する上にきわめて有用であることがわかつた。

(91) 鋼塊の凝固時におけるガス放出に関する考察

住友金属工業中央技術研究所

田上豊助

Fundamental Studies on the Gas Evolution during Solidification of Ingots.

Toyosuke TANOUÉ

I. 緒 言

リムド鋼塊やセミキルド鋼塊の製造においては凝固時の放出ガス量を調節することが重要であり、キルド鋼塊の製造においては凝固時の放出ガス量をできるだけ少なくすることが必要である。筆者らはさきにより、リムド鋼塊の放出ガス量について定量的な基礎を明らかにするため、Fe-C-O 系平衡より理論最大放出ガス量を計算して放出ガス量におよぼす C 含有量の影響や凝固の際の C-O 反応の進行などについて考察した。今回はキルド鋼塊の気泡の発生に関して O, H, N の影響度を明らかにするため、CO, H₂, N₂ の放出量を平衡論的に計算して比較した。また平炉鋼塊の気泡の発生におよぼす各ガスの影響を調査し、計算結果との対応を検討し、キルド鋼塊においても O が気泡の発生にもつとも大きな影響力を有していることを確認した。

II. CO の放出

Fe-C-O 系溶鋼が凝固する際、凝固時のある時期までに放出される CO ガスの最大放出量は近似的に次式で表わすことができる。

$$\Delta L_{CO} = K_1 W_0 \left[C_0 - \int_0^X C_{sd} X - C_L (1 - X) \right] \dots \dots \dots (1)$$