

(83) 連続鋳造における冷却条件と引抜き速度の改良計算法

名古屋大学工学部鉄鋼工学教室 ○ 森 山 昭
 鞭 巖

1. 緒言 インゴットの連続鋳造操作では、一定の冷却条件下でインゴットの厚さ、引抜き速度および冷却帯での滞留時間が無次元数 $H_2 = \alpha L / u W^2$ により規定される。¹⁾

本報では凝固速度の解析に積分(プロファイル)法²⁾を適用して、無次元数 H_2 の計算手順を前報¹⁾よりも簡便化し、試行錯誤法によらない直接計算法を示す。噴霧水冷部下端で凝固が完了するとして前報¹⁾のモデルを一般化して、ピンチロール付近でメタルの凝固が完了するものとした。

2. 理論 解析にあたり、次の仮定をおく。(i)冷却帯での未凝固メタルの温度は $\bar{t}_0 = (\bar{t}_1 + t_m)/2$ で一定とする。(ii)インゴット内の軸方向での熱伝導を無視する。(iii)メタルと鋳型の熱的物性値の温度変化を無視する。定常条件下で、引抜き速度 u で厚さ $2W$ の平板インゴットを連続鋳造するさい、凝固相の熱収支式は(1)式となる。

$$\partial \bar{\Phi} / \partial H = \partial^2 \bar{\Phi} / \partial X^2 \quad (1)$$

$$\bar{\Phi} = (t - t_w) / (\bar{t}_0 - t_w), H = \alpha \bar{x} / u W^2, X = x / W$$

鋳型部の境界条件は(2)~(5)式、噴霧水冷部のそれは(6)~(9)式で与える。

$$H=0 \text{ で } X_i=0 \quad (2), H>0, X=0 \text{ で } \partial \bar{\Phi} / \partial X = N_1 \bar{\Phi} \quad (3)$$

$$H>0, X=X_i \text{ で } \bar{\Phi} = \bar{\Phi}_m \quad (4), H>0 \text{ で } \partial \bar{\Phi} / \partial X|_{X=X_i} = S d X_i / d H \quad (5)$$

$$H=H_1 \text{ で } X_i=X_{i,1} \quad (6), H>H_1, X=0 \text{ で } \partial \bar{\Phi} / \partial X = N_2 \bar{\Phi} \quad (7)$$

$$H>H_1, X=X_i \text{ で } \bar{\Phi} = \bar{\Phi}_m \quad (8), H>0 \text{ で } \partial \bar{\Phi} / \partial X|_{X=X_i} = S d X_i / d H \quad (9)$$

ここで、 $H_1 = \alpha L_1 / u W^2$, $N_1 = U W / R$, $N_2 = R_2 W / R$, $S = \{(\lambda / q) + (\bar{t}_0 - t_m)\} / (\bar{t}_0 - t_w)$, $1/U = d/R_c + 1/R$ である。

(1)~(5)および(1), (6)~(9)式の解はそれぞれ(10)および(11)式となる(ただし、 $H=H_2$ で $X_i=X_{i,2}$)。

$$2N_1^2(P-1)^3 H_1 = (1+3P)A^2 + (3+P)A\sqrt{PA^2+(P-1)^2} + \frac{(P-1)^3}{\sqrt{P}} \ln \left\{ \frac{(P-1)/\sqrt{P}}{A + \sqrt{A^2+(P-1)^2/P}} \right\} \quad (10)$$

$$2N_2^2(P-1)^3 (H_2 - H_1) = (1+3P)(D^2 - B^2) + (3+P)\{D\sqrt{PD^2+(P-1)^2} - B\sqrt{PB^2+(P-1)^2}\} + \frac{(P-1)^3}{\sqrt{P}} \ln \left\{ \frac{B + \sqrt{B^2+(P-1)^2/P}}{D + \sqrt{D^2+(P-1)^2/P}} \right\} \quad (11)$$

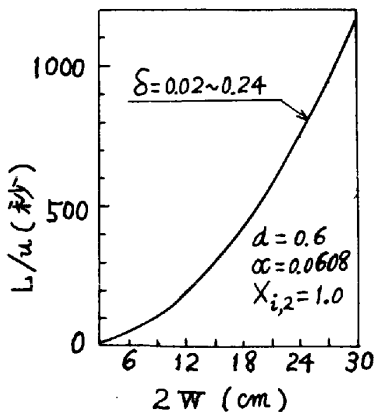


図2. インゴット厚さと凝固時間

ここで、 $P = 2\bar{\Phi}_m / S + 1$, $A = G_1 \sqrt{P} - N_1 X_{i,1} - 1$, $B = G_2 \sqrt{P} - N_2 X_{i,1} - 1$, $D = G_3 \sqrt{P} - N_2 X_{i,2} - 1$, $G_1 = \sqrt{(1/P) + N_1 X_{i,1}(2 + N_1 X_{i,1})}$, $G_2 = \sqrt{(1/P) + N_2 X_{i,1}(2 + N_2 X_{i,1})}$, $G_3 = \sqrt{(1/P) + N_2 X_{i,2}(2 + N_2 X_{i,2})}$ (10), (11)式で N_1, N_2 がともに極めて大きく、かつ $X_{i,2} = 1$ の場合は H_2 の理論最小値 $H_{2,min}$ が(12)式で与えられる。 $H_{2,min}$ は主としてメタルの物性で定まる(図1)。

$$H_{2,min} = 1/2(\sqrt{P} - 1) \quad (12)$$

3. 結果 H_2 に及ぼす δ と d との効果は比較的小さい。 W および R_2 はそれぞれ小さい値の範囲で H_2 にかかり影響する。 $\bar{t}_0$ は H_2 と直線的関係にあり、 $\bar{t}_0$ の増加とともに H_2 も増加する。図2に鋼のインゴット厚さと冷却帯での滞留時間の関係を示した。

4. 記号 C_p : 比熱, d : 鋳型壁厚, R, R_2 : 鋳型壁とインゴット表面の伝熱係数, R, R_c : 熱伝導度, L, L_1 : 冷却帯と鋳型の長さ, $t_m, t_w, \bar{t}_1$: 凝固点、水温、鋳込温度、

* 54(1968)No.11, 2) 森山、河合、鞭便: 金属学誌, 31(1967), 1010. ** $\alpha = R C_p / \rho$, $\delta = L_1 / L$, $\bar{x}$: 凝固厚, ρ : 密度, λ : 凝固潜熱