

(245) フレッツムーンミルにおける管の応力と変形の解析

住友金属工業(株)中央技術研究所 平岡宣昭

1. 目的; フレッツムーンミルにおける鍛接管製造のメカニズムを塑性論的に把握し, 操業技術の向上と計算機制御応用への基礎とする。

2. 記号と数式; i : スタンドNo., l, r, θ : 管軸, 径, 周方向, σ : 応力, φ : 歪, k_f : 変形抵抗
 μ, μ_o, μ_f : 摩擦係数(管・ロール, 帯鋼・R/D, 床), A : 管断面積, t : 管肉厚, d : 管外径, v : 管速度
 γ_a, γ_b : 平均管内外半径, D_R : ロール溝底径, R : 孔型カット半径, N_R : ロール r.p.m., Z_c : ロールと管の接触開始曲線, S_R : 軸方向射影接触面積, $^{\circ}$ 印: 熱影響部, $'$ 印: 本体部。

(1) 歪の定義: $\varphi_{li} = \ln(A_{i-1}/A_i)$, $\varphi_{oi} = \ln(A_i t_{i-1}/A_{i-1} t_i)$, $\varphi_{ri} = \ln(t_i/t_{i-1})$ ※

(2) 応力関係式: $\sigma_{li} = (\varphi_{oi} - \varphi_{ri}) K_i + \sigma_{ri}$, $\sigma_{oi} = (\varphi_{oi} - \varphi_{ri}) K_i + \sigma_{ri}$, $\sigma_{ri} = (\varphi_{oi} - \varphi_{ri}) K_i \ln(\gamma_{bi}/\gamma_{ai})$ ※
 ただし $K_i = \sqrt{2 k_f / \{(\varphi_{li} - \varphi_{oi})^2 + (\varphi_{oi} - \varphi_{ri})^2 + (\varphi_{ri} - \varphi_{li})^2\}}$

(3) 平均応力近似式: $\sigma_{li} = (\sigma_{li-1} + \sigma_{li})/2$, $\sigma_{ri} = \sigma_{ri}/2$ ※

(4) 2領域間の関係式: $A_{i-1} \sigma'_{li-1} + A_{i-1} \sigma'_{oi-1} + P'_{ri-1} + P'_{ri} = A_i \sigma'_i + A_i \sigma'_{oi} + P'_{fi} + P'_{fi}$, $(t'_{i-1} + t_i) \sigma'_{oi} = (t'_{oi-1} + t_i) \sigma'_{oi}$, $\varphi'_{li} = \varphi'_{li}$

(4)₁ ロール反力, 摩擦力の水平分力: $P_{ri} = -\sigma_{ri} S_{ri}$, $P_{fi} = -\mu_i \sigma_{ri} A_{fi}$ ※

(4)₂ 中立線の式: $Z_{ni} = \frac{1}{2} \sqrt{D_{ri}^2 - [D_{ri}^2 + d_i - t_{mi} - \frac{6.0 A_i v_i}{\pi^2 t_{mi} N_{ri} \{D_{ri} + 2 R_i (1 - \cos(w/R_i))\}}]^2}$ ※

(4)₃ 前向, 後向スリップ面積差: $\Delta S_{fi} = \int_w (Z_{ci} - Z_{ni}) dw$ ※

(5) ミル入口, 出口境界条件: $A'_i \sigma'_i + A'_i \sigma'_o = J$, $A'_N \sigma'_N + A'_N \sigma'_o = 0$

(6) ミル入口後方張力: $J = \frac{1 \pm 2 \mu_o / \pi}{1 \mp 2 \mu_o / \pi} \mu_f l_f P_f A_o$

以上の式を解けば応力, 歪が求まる。計算例を図1~4に示す。

3. 成果; 帯鋼厚変動による製管内厚のばらつき, ミル入口における帯鋼の巾方向温度差とビード高さの関係ほか, その対策も含めて実用面で有益な知見が得られた。

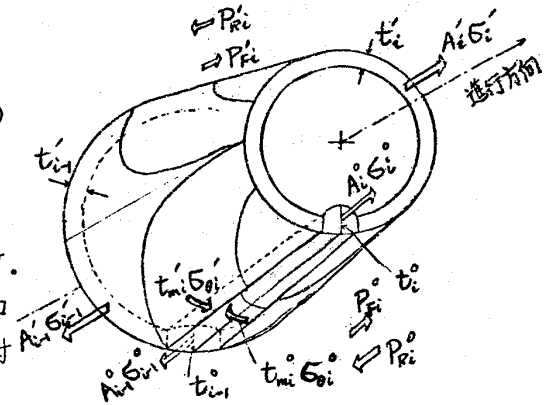


図1 ミルにおける応力の釣合い

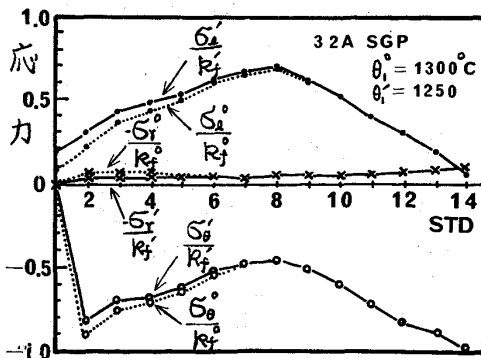


図2 各スタンドでの応力

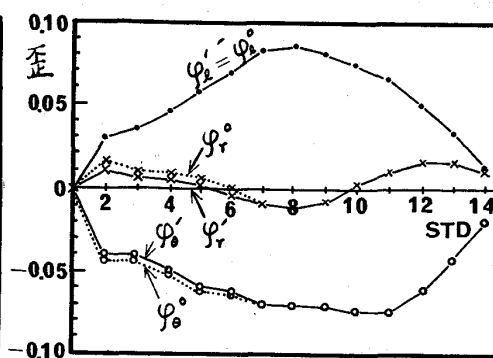


図3 各スタンドでの歪

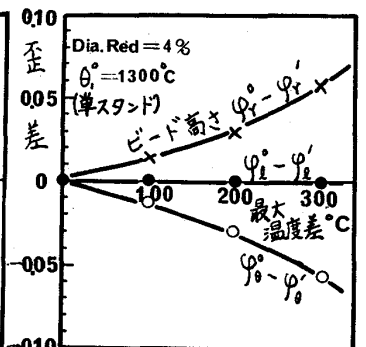


図4 周方向温度差と変形