

(427) 仕上全スタンドルーパレス圧延の制御方法

(熱延仕上圧延機における新張力制御方式の開発-I)

日本鋼管(株) 京浜製鉄所

○谷本 直 林 美孝

斉藤森生 藪内捷文 土井一博

1. 緒言

近年、熱延仕上圧延機では、^(注)CR材に代表される製造範囲の拡大に伴ないルーパ設備が大型化している。その結果、薄物狭巾材の張力制御性の低下を招いている。この問題を解決するため京浜製鉄所では厚物広巾材を対象とした新しいルーパレス圧延方式を開発した。ここでは統計的手法を用いて張力推定精度を高めることにより、従来の上流スタンドの一部にしか実現されていなかったルーパレス圧延を厚物広巾材料に対し全スタンドにわたり可能としている。

2. ルーパレス張力推定と制御方式

圧延理論によると、i スタンドにおいて圧延トルク (G)、圧延荷重 (P) と前/後方張力 (g_i, g_{i-1}) は次式で関連づけられる。(Fig.1)

$$G = R'^2 \int_0^\alpha p_\theta \cdot \theta \cdot d\theta - \frac{1}{2} R (g_i - g_{i-1}) - \frac{1}{2} (R' - R) \alpha P \quad (1)$$

右辺第1項を、トルクアーム係数 (a), 接触弧長, 圧延荷重の積と近次して次式を得る。

$$g_i = a_i p_i - (g_i - g_{i-1}) / 2 \quad (2)$$

但し, $g \triangleq \{ G + (R' - R) \alpha P / 2 \} / R$, $p \triangleq \sqrt{R'(H-h)} P / R$ 。

No.1 スタンドから No.j スタンド迄材料が噛み込んでいる状態で、

$g_0 = g_j \equiv 0$ なることを用いて、(2)式をスタンド数分重ね合わせ次式を得る。

$$g_0 \triangleq \sum_{i=1}^j g_i = \sum_{i=1}^j a_i p_i \quad (= a^T p) \quad (3)$$

ここで、 g_0, p_i は各スタンドの圧延機駆動モータ情報と圧延荷重計から推定または測定できる。

張力の推定は以下のステップに分けられる。

(step 1) : (3)式のトルクアーム係数 a_i ($i=1 \sim j$) をオンライン最小自乗法で圧延中に同時に推定する。

$$\left. \begin{aligned} Q_k &= Q_{k-1} - Q_{k-1} P_k (1 + P_k^T Q_{k-1} P_k)^{-1} P_k Q_{k-1}^T \\ \hat{a}_k &= \hat{a}_{k-1} + Q_{k-1} P_k (1 + P_k^T Q_{k-1} P_k)^{-1} (g_{0k} - P_k^T \hat{a}_{k-1}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(step 2) : 求めたい (j-1) 個の張力 g_i に対して、上記 a_i を用いて j 個の(2)式が存在する。

各スタンドでの張力誤差和が最小となるように、張力 g_i を重み付き最小自乗法で求める。

すなわち、(2)式より $\varepsilon_i = g_i - \{ \hat{a}_i p_i - (g_i - g_{i-1}) / 2 \}$ とし、

$$\varepsilon = U - A g \quad (5)$$

但し、 $U \triangleq (g_1 - \hat{a}_1 p_1, g_2 - \hat{a}_2 p_2, \dots, g_j - \hat{a}_j p_j)^T$ 。この誤差を次式で最小化する。

$$\text{Min}_U \varepsilon^T W \varepsilon \iff A^T W A g = A^T W U \quad (6)$$

求めた張力 g_i と目標張力との差に対して PID 制御を施し、上流側スタンドのロール速度を操作することによりスタンド間張力を制御する。以上の張力推定と制御は圧延中に繰返し実行する。

3. 結言

今回開発した全スタンドルーパレス圧延方式は、その張力の推定方法に特徴があり、トルクアーム係数を上流スタンドからの張力の代入法で EXPLICIT に求める代りに、両端張力を既知とする IMPLICIT な境界値問題として求めている。トルクアーム係数にロックオンが不要なことと、張力推定誤差を最小とする方法と合わせ、その推定精度の改善を狙っている。(注: コントロールド・ローリング材)

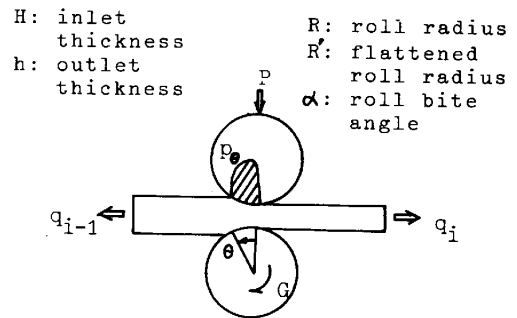


Fig.1 Balance of forces to the roll bite material