

タンデム圧延機におけるパススケジュールの 新しい計算法 (第 2 報)

The New Method of Calculation of Pass Schedules for Tandem Mills—(2)

鈴 木 弘・鎌 田 正 誠

Hiromu SUZUKI・Masamoto KAMATA

1. ま え が き

前報ではコールドタンデム圧延機のパススケジュールの一般的計算法について筆者らが新しく考案した方法の概要を述べた。本報ではこの手法をホットタンデム圧延機に応用した結果およびこれらの手法を用いてタンデム圧延機のパススケジュールを計算した例を示す。

2. 記 号

- G : 圧延トルク P : 圧延荷重 L : 圧延動力
 U : 体積速度 f : 先進率 γ : 圧下率
 V_0 : モータ設定速度 V_n : 中立点材料速度
 Z^* : ミルモータトルク剛性率 H : ロール入口板厚
 h : ロール出口板厚 AA : 動力換算係数
 S_r : 設定ロール間隙 R : 作動ロール半径
 λ : 材料歪速度 k : 変形抵抗 T : 材料温度
 b : 材料幅 γ_L : 動力配分率 γ_p : 荷重配分率
 K : ミルスプリング係数 Ω : 収束係数
 i : スタンドを表わす suffix

3. ホットタンデムミルのパススケジュール計算法

ホットタンデム圧延機の場合も、コールドタンデム圧延機の場合と同様、圧延動力配分率 (γ_L)、圧延荷重配分率 (γ_p) を与えて、パススケジュールを計算する方法を開発した。この場合解くべき方程式は次のようになる。

(1) 圧延動力配分率を与える場合

体積速度一定の条件

$$(1+f_i)(1+Z_i^*G_i)V_{oi}h_i=U \quad (1)$$

圧延動力配分率の定義式

$$AA_i(1+Z_i^*G_i) \cdot G_i \cdot V_{oi} = \gamma_{Li} L_0 \quad (2) \quad (L_0: \text{全動力})$$

設定ロール間隙を求め式

$$S_{ri} + P_i / K_i = h_i \quad (3)$$

(2) 圧延荷重配分率を与える場合

$$(1+f_i)(1+Z_i^*G_i)V_{oi}h_i=U \quad (4)$$

$$P_i = \gamma_{pi} P_0 \quad (5) \quad (P_0: \text{全荷重})$$

$$S_{ri} + P_i / K_i = h_i \quad (6)$$

これらの方程式をタンデムミル各スタンドについて求め、これを解けば所要の解を求めることができる。ただし、各式中の $P_i \cdot f_i \cdot G_i$ 等は熱間圧延状態を表わす理論式により求める。筆者らは Sims¹⁾ の式を用いた。

また変形抵抗としては次の式を用いた。

$$k = S_0 \cdot \gamma^n \cdot \lambda^m \cdot \exp(\alpha / (273 + T)) \quad (7)$$

この場合解くべき方程式は複雑な非線形方程式になるので解析的手法では解けない。よって筆者らは Newton の方法を適用して解いた。たとえば荷重配分率を与える場合について考えてみる。この場合は (5) 式に Newton の方法を適用する。

$$\begin{bmatrix} \phi_{2,1} & \phi_{3,1} & 0 & 0 \\ \phi_{1,2} & \phi_{2,2} & \phi_{3,2} & 0 \\ 0 & \phi_{1,3} & \phi_{2,3} & \phi_{3,3} \\ 0 & 0 & \phi_{1,4} & \phi_{2,4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1' - h_1 \\ h_2' - h_2 \\ h_3' - h_3 \\ h_4' - h_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega \phi_{4,1} \\ \Omega \phi_{4,2} \\ \Omega \phi_{4,3} \\ \Omega \phi_{4,4} \end{bmatrix} \quad (5)'$$

$\phi_{m,n}$ は $h_i \cdot V_i$ によってきまる定数である。 Ω は圧延速度が (5)' 式に及ぼす影響を相殺するために導入した“収束係数”であり通常 1.0 に近い値をとる。したがって (5)' 式をくり返し解くことによって所要の解を求めることができる。この計算の手続は大略前報と同じなので省略する。また動力配分率を与える場合についても Newton の方法を適用して解いたが省略する。

4. 計算結果および実測データ

コールドタンデムミルパススケジュール計算例：圧延動力配分率、圧延荷重配分率、板厚偏差率配分率を与えた場合の三つの方法について述べたが、一例として経験から導かれた実施例に近い値の圧延動力配分率を与えた場合について理論計算と実測データの比較を行なう。

表・1 計算条件

項 目	数 値	項 目	数 値
動力配分率		ロール半径	
No.1 スタンド	6.8(%)	No.1 スタンド	298 (mm)
No.2 スタンド	23.0(%)	No.2 スタンド	298 (mm)
No.3 スタンド	23.0(%)	No.3 スタンド	298 (mm)
No.4 スタンド	23.6(%)	No.4 スタンド	298 (mm)
No.5 スタンド	23.6(%)	No.5 スタンド	298 (mm)
No.1~2 スタンド間張力	10.7 (kg/mm ²)	摩擦係数	0.03
No.2~3 スタンド間張力	12.4 (kg/mm ²)	材 料 幅	930 (mm)
No.3~4 スタンド間張力	12.5 (kg/mm ²)	ミルスプリング 係数	400 (ton/mm)
No.4~5 スタンド間張力	14.5 (kg/mm ²)	ミルモータトルク 剛性率	0
No.5~reel 間張力	6.2 (kg/mm ²)	粗 板 厚	2.30 (mm)
No.5 ロール設定速度	1320(m/min)	仕 上 板 厚	0.258 (mm)
機 械 効 率	90(%)		

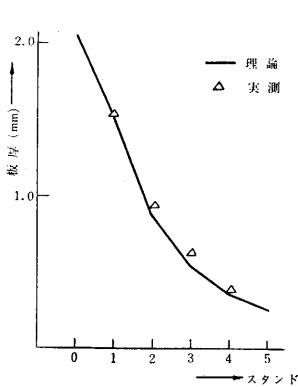
材料変形抵抗 $S=84.6 (\gamma+0.00817)^{0.3}$

表・2 計算結果

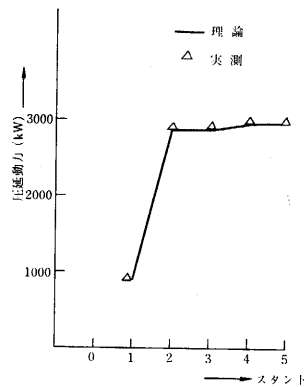
項目		スタンド				
		1	2	3	4	5
板厚 (mm)	理論	1.51	0.861	0.540	0.351	0.258
	実測	1.54	0.935	0.632	0.379	0.258
動力 (kW)	理論	852	2880	2880	2950	2950
	実測	858	2900	2900	2970	2970
ロール設定速度 (m/min)		227	407	635	960	1320
設定ロール間隙 (mm)		-0.210	-1.239	-1.560	-1.789	-2.172
圧延荷重 (ton)		687	820	820	855	970

表・4 計算結果

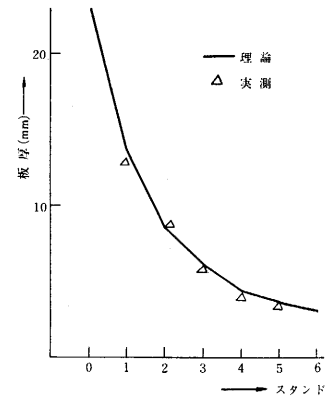
項目		スタンド					
		1	2	3	4	5	6
板厚 (mm)	理論	13.59	8.70	6.19	4.59	3.67	3.20
	実測	13.00	8.80	6.00	4.40	3.50	3.20
動力 (kW)	理論	3080	3080	2560	2560	2030	1110
	実測	3150	3150	2620	2620	2020	1125
材料温度 (°C)		1065	1030	990	950	910	870
ロール設定速度 (rpm)		47.01	73.93	105.64	143.19	181.90	212.50
設定ロール間隙 (mm)		11.31	6.68	4.54	3.05	2.39	2.34
圧延荷重 (ton)		1143	1011	822	773	641	427



図・1



図・2



図・3

ホットタンデムパススケジュール計算例：ホットタンデムの場合もコールドタンデムの場合と同様経験から導かれた実施例に近い値の圧延動力配分率を与えた場合について計算例を示す。

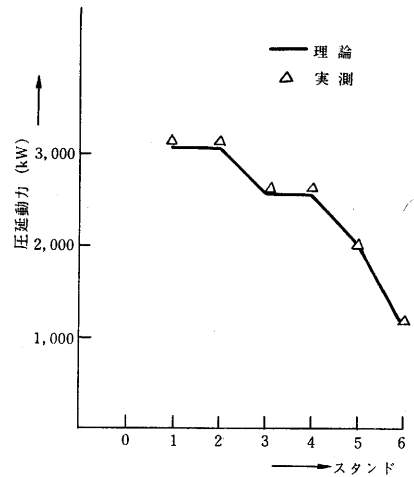
表・3 計算条件

項目	数値	項目	数値
動力配分率		ロール半径	
No.1 スタンド	21.4(%)	No.1 スタンド	310 (mm)
No.2 スタンド	21.4(%)	No.2 スタンド	310 (mm)
No.3 スタンド	17.8(%)	No.3 スタンド	310 (mm)
No.4 スタンド	17.8(%)	No.4 スタンド	310 (mm)
No.5 スタンド	13.8(%)	No.5 スタンド	310 (mm)
No.6 スタンド	7.8(%)	No.6 スタンド	310 (mm)
材料幅	914 (mm)	粗板厚	23.0 (mm)
機械効率	92(%)	仕上板厚	3.2 (mm)
No.6 スタンド		ミルスプリング係数	500 (ton/mm)
ロール設定速度	212.5 (rpm)		

材料変形抵抗 $S=1.70\rho^{0.2}20^{0.086}\exp(2852/(273+T))$
 T =材料温度 (°C)

5. あとがき

従来、経験にのみ依存していた圧延作業を理論的に体系づける一つの試みとして、圧延作業の最も基礎的な問題であるパススケジュール決定法について理論的な考察を行なった。



図・4

そして本報告で述べた方法を適用することによって実際作業上ほぼ使用可能なスケジュールを理論的に計算できることがわかった。
 (1966年10月12日受理)

参考文献

1) R.B. Sims 'Calculation of Roll Force and Torque in Hot Rolling Mills' Proc. Instn. Mech. Engrs., (1954).