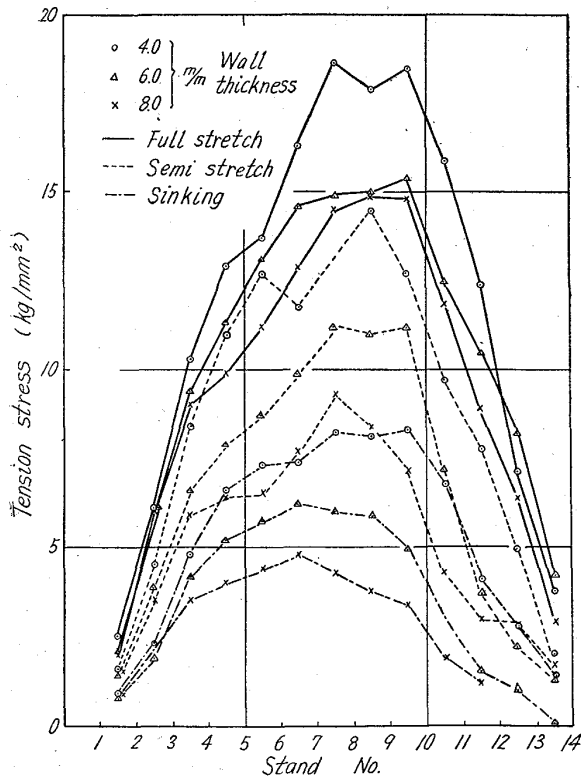


Fig. 4. Change of rolling torque distribution due to roll r. p. m.



(Obtained from experiment, assuming that torque due to rolling force is constant.)

Fig. 5. Tension stress between stands.

力による圧延力の減少、管端厚肉現象およびトルクアームの変化を無視したものだが引張応力の分布を知るに役立つ。これに基づいて計算した結果を図示した Fig. 5 によればいずれの段取でも No.7~10 スタンドで最大引張応力を生じ、薄肉管のほうが厚肉管よりも応力が大きい。Full stretch 段取の薄肉では引張応力は約 18 kg/mm<sup>2</sup> に達する結果をえた。

4. 変形抵抗

(i) 形状変化係数による方法

形状変化係数<sup>2)</sup>を用いて母管を仕上管まで変形するに

要する仕事  $A_T$  はつぎの式であらわされる。

$$A_T = V \cdot K_f \cdot (1.5 + 2\nu_m^2) \phi_1 / \sqrt{3(\nu_m^2 + 0.75)}$$

ここに  $V$ : 体積,  $K_f$ : 変形抵抗,  $\nu_m$ : 平均形状変化係数,  $\phi_1$ : 軸方向の対数変形量である。パイプ変形に要した仕事をトルク, ロール回転数, 圧延時間より求め上式より変形抵抗  $K_f$  を求めた結果によると, 0.12% 鋼で  $K_f = 22 \sim 30 \text{ kg/mm}^2$ , 0.40% C 鋼で  $25 \sim 32 \text{ kg/mm}^2$ , 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼で  $K_f = 36 \sim 40 \text{ kg/mm}^2$  となつた。

(ii) 第 1 スタンドかみ込みトルクによる方法

第 1 スタンドへのかみ込みトルクは Tension が働いていないので, かみ込みトルク  $T_{1S}$  はつぎの式で求まる。

$$T_{1S} = \pi t_0 K_f (2x l_a^2)$$

ここに  $t_0$ : 母管肉厚,  $l_a$ : 投影接触長さ,  $x l_a$ : 圧延力によるトルクアームを示す。この式は実用上しばしば用いられるので, この式による変形抵抗を知ることは重要である。  $x=1/2$  と仮定して変形抵抗を求めると 0.12% C 鋼で  $K_f = 20 \sim 29 \text{ kg/mm}^2$ , 0.40% C 鋼で  $23 \sim 28 \text{ kg/mm}^2$ , 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼で  $30 \sim 42 \text{ kg/mm}^2$  となり形状変化係数で求めたものとはほぼ一致するとみてよい。

IV. 結 言

パイプ・レデュースングに関する実験として, ロール回転数比をかえて肉厚変化を求め, 仮定を用いてスタンド間引張応力を推定し変形抵抗を求めた。しかし引張力はロール摩擦係数に大きく依存し, それに応じて最大引張力の限界が定まるがこれを求めるにはロール接触弧内の応力解析が必要である。ロール接触弧内の解析, 摩擦係数による最大引張力の限界の変化およびそれに応じた肉厚変化の差異の解析については別途報告する。

文 献

- 1) NEUMANN u. HANCKE: Stahl u. Eisen. (1955) 22, 1452~1460
- 2) 岡本豊彦: 住友金属, 4 (1952) 4, p. 411~423

621,771,063,016,3:539,557  
(180) 4 段冷間圧延機の剛性について  
東洋鋼鉄, 下松工場

○久能 一郎・御園生一長  
On the Mill Spring in 4-High Cold Mill.

No. 64342  
Ichiro KUNO and Kazunaga MISONOO.

I. 緒 言 PP2053-2055

板厚は圧延材の塑性特性, 圧延機の弾性特性が釣り合った状態で決まるため, 両特性に影響をおよぼすいろいろの因子によつて変動する。圧延機の弾性特性は圧延機を構成する各部分の変形量により決定されるため, 生産用圧延機で各部分の変形量を測定し, ミル剛性におよぼす影響, ミル剛性の簡単な求め方について考察した。

II. 測定圧延機

1. 5 基連続 4 段冷間圧延機

21''φ & 53''φ×56'' (以下圧延機Aと記す)

2. 1基4段調質圧延機

19 1/2''φ & 45''φ×56'' (以下圧延機Bと記す)

III. 圧延機各部の変形量の測定

圧延機の変形量は圧延荷重以外に圧延材料の板巾、圧延速度などによつても変わる。この測定ではワークロール同志を接触させて静止した状態での静特性について測定した。圧延機内で力を伝える各部分はその寸法、材質、力のかかり方に応じて弾性変形を行なう。圧延機全体としての変形量はスクリーカウンターにより0.0025mmの精度で読み取られるため、圧延荷重がわかれば容易に圧延荷重を縦軸、圧延機全体の変形量を横軸にとつた弾性特性曲線が求められる。この弾性特性曲線は、一般に圧延機のカタ、接触変形などのため立ち上り部が非常に緩やかで荷重が増すと直線に近くなる。普通作業時の圧延荷重は30万lbs/1 post (500~700 t)であり、板厚制御で問題となるのはこの付近でのミル剛性であるため、立ち上りの緩やかな部分を除いて考える。そのため10万lbs/1 post (182 t)の予圧をかけた後に50万lbs/1 post (910 t)まで荷重をかけ、差圧40万lbs/1 post (728 t)について変形量を読み取つた。圧延荷重は歪計をハウジング柱に取り付け上下バックアップロール間に油圧を挿入し油圧ポンプにより荷重を与えて読みを較正して読み取つた。圧延機内で変形を行なう部分は Fig. 1 に示す次の部分と考えられる。

1. δ<sub>H</sub>: ハウジングの変形

δ<sub>H1</sub>: ハウジング柱の伸び. δ<sub>H2</sub>: 上ハリのたわみ.

δ<sub>H3</sub>: 下ハリのたわみ.

$$\delta_H = \delta_{H1} + \delta_{H2} + \delta_{H3}$$

2. δ<sub>S</sub>: 圧下スクリー、上チヨック間の変形

δ<sub>S1</sub>: 圧下スクリーの圧縮. δ<sub>S2</sub>: ナットの圧縮.

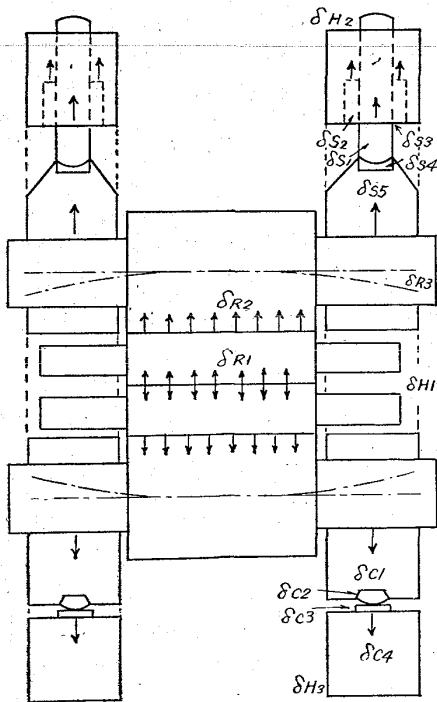


Fig. 1. Displacement of mill-parts.

δ<sub>S3</sub>: 歯のたわみ. δ<sub>S4</sub>: スラストメタルの接触変形.

δ<sub>S5</sub>: 上チヨックの圧縮.

$$\delta_S = \delta_{S1} + \delta_{S2} + \delta_{S3} + \delta_{S4} + \delta_{S5}$$

3. δ<sub>R</sub>: ロールの変形

δ<sub>R1</sub>: ワークロール同志の接触変形. δ<sub>R2</sub>: ワークロール, バックアップロールの接触変形. δ<sub>R3</sub>: バックアップロールネック部のたわみ.

$$\delta_R = \delta_{R1} + 2\delta_{R2} + 2\delta_{R3}$$

4. δ<sub>C</sub>: 下チヨック, ハウジング間の変形

δ<sub>C1</sub>: 下チヨックの圧縮. δ<sub>C2</sub>: プレッシュャーブロックの圧縮. δ<sub>C3</sub>: ライナーの圧縮. δ<sub>C4</sub>: ハウジング下ハリの圧縮.

$$\delta_C = \delta_{C1} + \delta_{C2} + \delta_{C3} + \delta_{C4}$$

これらの各部分を測定するのは非常に困難であるため Fig. 2 に示す部分について, a, c 部は差動変圧器, b 部はダイヤルゲージにより測定した。

IV. 測定結果

測定部は次の変形量を表わす。

a 部: 測定距離間のハウジング柱の伸び

b 部: δ<sub>R</sub> + δ<sub>H</sub> + δ<sub>C</sub>

$$\delta(\text{圧下量}) - (\text{b部}) = \delta_S$$

c 部: δ<sub>R</sub> + ロールネック部の荷重中心からチヨック外端までのたわみ量

両圧延機での測定結果を Table 1 に示す。

V. 計算式からの変形量と考察

1. ハウジングの変形量

上下ハリの屈曲点を求めて変形量を出す Keller<sup>2)</sup>の方法によると,

$$\delta_{H1} = h/E \{ (1/4)P \} / A [ 1 + 12 \{ (L/2 - x)/w \}^2 ]$$

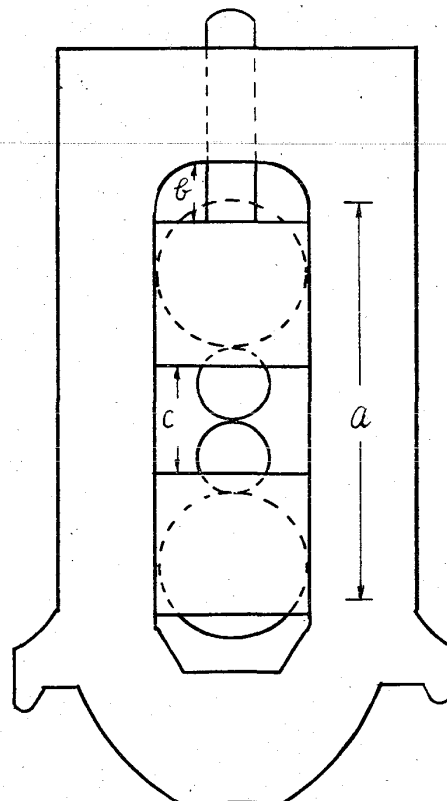


Fig. 2. Measured parts.

Table 1. Displacement of mill-parts by rolling load 728 t.

Measured parts	Parts in displacement	Mill A	Mill B
a	$\delta_H'$	0.037mm	0.043mm
b	$\delta_R + \delta_H + \delta_C$	0.986	1.070
c	$\delta_S$	0.285	0.230
	$\delta_R'$	0.925	0.987
counter	$\delta_H + \delta_R + \delta_S + \delta_C$	1.271	1.300

$$\delta_{H2}(\delta_{H3}) = [\{(1/2)p(2x)^3\}/48EI] \{1 + 2.85(v/2x)^2 - 0.84(v/2x)^3\}$$

で表わされる。各数値を入れると圧延機Aでは  $\delta_{H1} + \delta_{H2} + \delta_{H3} = 0.200\text{mm}$ , Bでは  $0.198\text{mm}$  となる。測定部については, Aは  $0.037\text{mm}$ , Bは  $0.051\text{mm}$  とほぼ一致する。

2. 圧下スクリュー, 上チェック間の変形量

圧下ネジとナットはねじ歯がかみ合った状態で平衡を保つて変形する。この状態は各ねじ歯の受けもつ荷重が長さ方向にはほぼ等分布の状態とみなされる。スラストメタルは上下接触面の曲率半径が異なるため接触変形を行なう。上チェックの変形は半無限体に様な圧力のかかった場合だとすると,

$$\begin{aligned} \delta_{S1} &= pl_1/2E_1f_1 \\ \delta_{S2} &= pl_2/4E_2f_2 \\ \delta_{S3} &= p\pi d/2t\mu^2 \\ \delta_{S4} &= 1.55 \sqrt{[(1/2)p]^2/E^2 \{(D_1 - D_2)/D_1 D_2\}^3} \\ \delta_{S5} &= \{1.90pb(1-\nu^2)\}/E^3 \end{aligned}$$

で表わされる。各数値を代入すると圧延機Aでは  $0.256\text{mm}$ , Bでは  $0.216\text{mm}$  と測定値に近い値となる。

3. ロールの変形量

バックアップロールネック部は, 曲げ応力, 剪断応力のためたわみ, ロールネック中央で集中荷重を受けると考えると,

$$\delta_{R3} = (pn^3/6EI) + (2pn/\pi Gd^2) + \{(8p/3\pi ED^4)(L^2 + 2nL - 8n^2)n\} + (2pn/\pi GD^2)$$

で表わされる。またロールの接触変形量は

$$\delta_{R1(2)} = \{2(1-\nu^2)/E\} (p/\pi) \{2/3 + \ln(2D_1/b) + \ln(2D_2/b)\}^3$$

で表わされる。バックアップロールについては接触変形とたわみによる変形が重なるため接触変形量は巾方向に一樣でなく, ロール端が多い。使用荷重範囲では, 接触変形量  $\delta_{R2}$  が  $\delta_{R3} = kp$  と近似できるためロールバレルのたわみ量が巾方向に, 1次に比例すると仮定すれば全圧延荷重は一定であることより, バレル端の荷重は求まり, 接触変形量も求まる。各数値を入れると圧延機Aでは,  $0.709\text{mm}$ , Bでは  $0.909\text{mm}$  となる。この値に荷重中心からチェック端までのたわみ量を計算して加えるとAでは  $0.925\text{mm}$ , Bでは  $1.201\text{mm}$  となる。圧延機Bでは測定値と相当異なつた値となつたがモーゴイル軸受のため, ロールネック部にチーパーがついているのを平均径で計算したことが一つの原因と考えられる。

4. 下チェック, ハウジング間の変形量

下チェックおよびハウジングとライナーの接解部は, 上チェックの変形と同様に半無限体に様な圧力のかか

つた場合とし, プレッシャーブロック, ライナーは圧延機Aでは平面接触しているため単純圧縮, Bでは曲面接触しているため接触変形をすると考えると,

$$\delta_{C1(4)} = \{1.90pb(1-\nu^2)\}/E$$

$$\delta_{C2(3)} = pl/Ef$$

$$\text{または} = 4p\{(1-\nu^2)/\pi E\} \{1/3 + \ln(2D/b)\}^3$$

で表わされる。圧延機Aでは  $\delta_C = 0.060\text{mm}$ , Bでは  $\delta_C = 0.196\text{mm}$  となる。 $\delta_R + \delta_H + \delta_C$  はAでは  $0.969\text{mm}$ , Bでは  $1.303\text{mm}$  となりAではかなり一致した値となつた。

全変形量について, 圧延機Bでプレッシャーブロックが弾性変形しないとして計算すれば測定値に近い値となる。

5. 変形量の近似式

一般に4段冷間圧延機の各部分は寸法的に相似であるため, 以上の計算式を代表寸法を使つて近似すると圧延荷重  $300 \sim 1,000\text{t}$  では以下のような簡単な式となる。

$$\delta_H = (p/b) [0.72\{(D_1 + 2/3 \times h)/b\}^3 + 3.8\{(D_1 + D_2)/h\} \times 10^{-5}]$$

$$\delta_S = p\{0.78/d + 0.30(l + d^2) + 2.0 \times 10^{-3}\} \times 10^{-4}$$

$$\delta_{R1} = 2.8 \times 10^{-4}(p/L) + 2.6 \times 10^{-5} \cdot D_2$$

$$2\delta_{R2} = 2\{(D_1/D_2) + 34.6\} 0.792 \times 10^{-5} \{p(i+k)/L\} + 2.53 \times 10^{-5} \cdot D_2$$

$$k = [\{(1/2)pL\}/D_1^2 \{2.8(L^2/D_1^2) + 2\} \times 10^{-5} / \delta_{R2}(k=0)]$$

$$2\delta_{R3} = 2p/D_1^2 \{9.7L + 6.5(L^3/D_1^2)\} \times 10^{-5}$$

$$\delta_C = 8.0 \times 10^{-8} p$$

$D_1$ : バックアップロール径.  $L$ : 同バレル長.  $D_2$ : ワークロール径.  $h$ : ハウジングポスト巾.  $b$ : 同厚み.  $d$ : 圧下ネジ径.  $l$ : 圧下ネジ降下量.  $p$ : 圧延荷重. 単位は  $\text{kg}$ ,  $\text{mm}$  である。

この式で圧延機A, Bの場合を計算するとAでは,  $\delta = 1.279\text{mm}$ , Bでは  $1.354\text{mm}$  となりくわしい計算値,  $1.225\text{mm}$ ,  $1.378\text{mm}$  に近い値となる。

VI. 結 言

2種の圧延機で荷重による各部分の変形量を測定し, 計算値とかなりの一致をみた。変形量の大きいのはロールであり, ハウジングと圧下スクリュー, 上チェック間と同程度の変形量を示す。

4段冷間圧延機の各部の変形量は代表寸法を用いて近似式で表わされる。

文 献

- 1) J. D. KELLER: Blast Furn. & Steel Plant (43) Oct. & Nov. 1955
- 2) 石橋 正: 金属の疲労と破壊の防止, 第4版 p. 223~228
- 3) R. J. ROARK: Formulas for Stress and Strain 3rd ed.