

Photo. 2. Flaring and flattening test results after warm worked at 300°C. (×about 1/5)(9/10)

している。その後 2.5~3.0 mm(外径の 3%前後)にて最も顕著な効果があることを示し、以降圧下量を増してもその効果はなだらかなものとなっている。この変化を予備実験と比較すると、この方式による温間効果は外径に対する圧下量の絶対値に強く影響され、その値は(3±1) mmである。圧下量 5 mm(外径の 5.6%)では、供試管に比べ引張強さ、降伏点で約 8 kg/mm<sup>2</sup>の上昇、伸びで 25%の低下がみられ、温間効果が機械的性質を相当変化させることがわかる。

Fig. 2 中・下段は実用試験(扁平試験と押拡げ試験)との関連を示したものである。これによれば圧下量 3 mmまでは機械試験値と同傾向を示しているが、3 mm以上の加工で扁平試験値および押拡げ試験値は急激に悪化し、推定 4 mm(外径の 4.5%)圧下で扁平試験値は JIS 規定を下回るようになる。この圧下量をさらに増した場合は推定 6 mmで管は、矯正機ロール中で破断を起こすものと考えられる。

なお、これらの調査とは別に、衝撃試験値(シャルピー、4号試験片に準ずる。)の変化についても調べたが、圧下量 0~5 mm 間でのデータは脆性の増加を予想させるものがなく、同温度帯(300°C付近)で発生する青熱脆性の危険はないものと思われる。

Fig. 3 によれば矯正機による温間加工のため、管長手方向に温間効果のパラッキが見受けられる。このデータは管長手方向 5 mmごとに肉厚の中心部で硬さ(ビッカース Hv)を測定したもので、加工量が大きくなるほどパラッキが大きくなっているが、矯正ロールのあたるピッチ(小ピッチ: 約 35 mm, 55 mm, 大ピッチ: 90 mm)とは無関係で、管は全長にわたり温間効果を受けている。(Fig. 2 のデータはいずれも測定 10 個の平均値)

3.2.2 再熱による温間効果の消滅試験

先述のごとく、被温間加工管をふたたび加熱することにより、温間効果がどのように変化するか調査したが、再熱温度は、ほぼ温間加工温度に上昇するまで、その効果を残留させることがわかった。一例をあげると 300°C 温間加工の管を空中冷却の後、260°C に再熱空冷した場合、加工量に無関係に引張強さ・降伏点は約 1 kg/m<sup>2</sup>低下し、伸びはほぼ 2%上昇した。(この場合の低下・上昇は復元を意味する。)

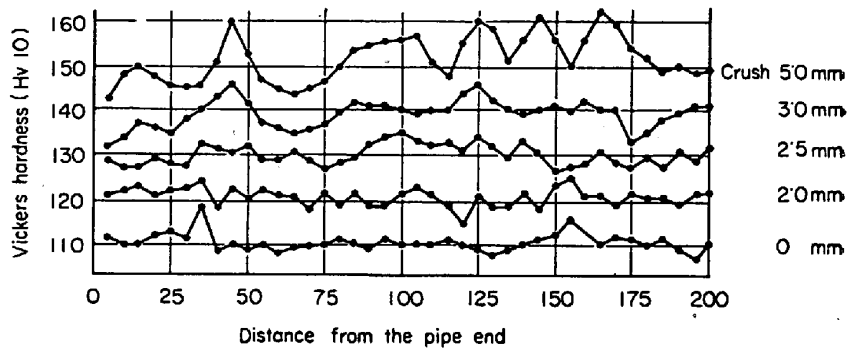


Fig. 3. Relation between hardness and longitudinal position of the pipe.

4. 結 言

断面変化を伴わない温間加工の効果は、他方式によるものと同様十分に期待でき、再現性もあることがわかった。この方式による結論は次のようになる。

- 1) 大量生産が可能(温度保持のための加熱が不要)
- 2) 再現性が安定しており、管の強度向上および薄肉化・価格低減が期待できる。
- 3) 比較的高温で使用する管まで応用できる。
- 4) 高価な特殊成分を使用することなく、機械的性質を向上することができる。

文 献

五弓, 他: 塑性と加工, 5 (1964) 45

(142) 厚板 4 段仕上圧延機のワークロールクラウンについて

日本鋼管, 鶴見製鉄所

長瀬 光夫・清水 茂成

日立金属, 若松工場 工博 河原 英磨

On the Work Roll Crown of Plate Mill 4Hi Finisher

Mitsuo NAGASE, Shigenari SHIMIZU and Dr. Hidemaro KAWAHARA

1. 緒 言

一般に厚板工場において、4 段仕上圧延機で圧延された鋼板は、圧延機に大きなバックアップロールがあるとはいえ、巾方向で鋼板の中央部は両サイド部より、若干

厚みが厚い。

この厚みの不均一を均一にすることは、鋼板の使用上からも、また厚板工場の材料歩留の向上にも必要で、きわめて重要なことである。

これらの主原因はロールの変形によるものであり、より厚みの均一な鋼板を製造するため、ワークロールのクラウンについて検討したので報告する。

なお日本鋼管、鶴見製鉄所厚板工場 4 段仕上圧延機の諸元は次のとおりである。

型式 4 段逆転式仕上圧延機  
 駆動装置 モーター馬力 3500HP×2 台  
 回転数 0-35-80 rpm

ワークロール

寸法 914 mm φ (胴径)×3404 mm (胴長)  
 材質 特殊高合金鑄鉄 (中抜グレン) 硬度 Hs 68~76

バックアップロール

寸法 1473 mm φ (胴径)×3353 mm (胴長)  
 材質 特殊合金鑄鋼または鍛鋼, 硬度 Hs 40~45

2. ロールグラウンの計算に必要な諸要因

圧延中のロールの変形は、圧延機の型式、寸法、作業条件、ロール材質などにより異なるので、ロールクラウンは各圧延工場の経験、調査、研究にもとづいて、設定された工場独自のものとなるが、圧延 4 段仕上圧延機の場合、ワークロールとバックアップロールの摩耗形状、熱膨張、撓み、偏平化などである。最終製品の中方向中厚に影響をおよぼすのは最終パスとその前の数パスであるが、簡素化するために、最終パスについて検討を加え圧延圧力、圧延温度などの実測を行なつたが、最終パスの圧延圧力は 1000~2000 t 程度であつた。したがつてロールの偏平化は圧延圧力がこの程度では、鋼板中厚におよぼす影響が微小であるので、ここでは省略した。

2.1 ワークロールの摩耗と熱膨張

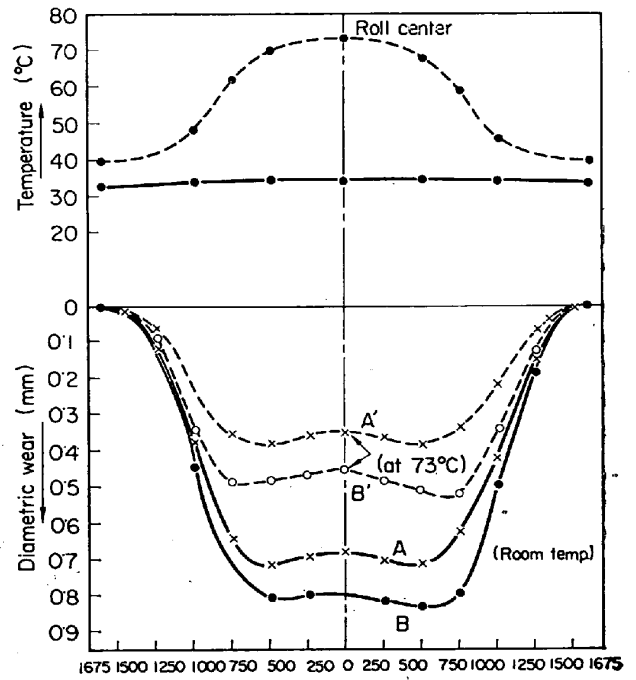
ワークロールの摩耗は、ロール組入れ 1 回使用当たりの圧延時間 (または鋼板通過合計長さ)、鋼板寸法、ロール硬度、直径などに影響されるが、Fig. 1 にフラットロール (上ロール) 2 本の例で、A は B より直径が大きく、高硬度のため摩耗量は若干少ない。常温での摩耗測定結果は上下ロールの差はなく、ロール胴端と中央の径差は 0.6~0.9 mm φ の中凹となる。

つぎに、ロールは鋼板に接する部分から熱を受けて、温度が上昇するが、この他ロールと鋼板間の摩擦熱と弾性変形を繰返す際の内部摩擦熱もその一因となる。

一方ロールは過熱しないように水で冷却する。実測の結果、ロール組入圧延開始後、約 3 hr まではロール温度が上昇し、3 hr 以後は受熱と放熱とが平衡状態となり Fig. 1 の破線で示すような温度分布となる。一般に上下ロール共、中央で 70~76°C、胴端で 38~42°C である。このような温度分布をしたロールの熱膨張と摩耗量とを加えたロール形状の例が Fig. 1 の A', B' の破線であり、全般には直径で 0.3~0.6 mm φ の中凹となつている。

このような実測結果から、ワークロールの熱膨張係数を検討したが、平均値として  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  となつた。

2.2 バックアップロールの摩耗



A Roll : Diameter 903.82mmφ Rolling time 30hr  
 Hardness Hs 73  
 B Roll : Diameter 879.15mmφ Rolling time 27hr  
 Hardness Hs 70

Fig. 1. Wear pattern and temperature distribution for a plate mill 4Hi finisher work roll.

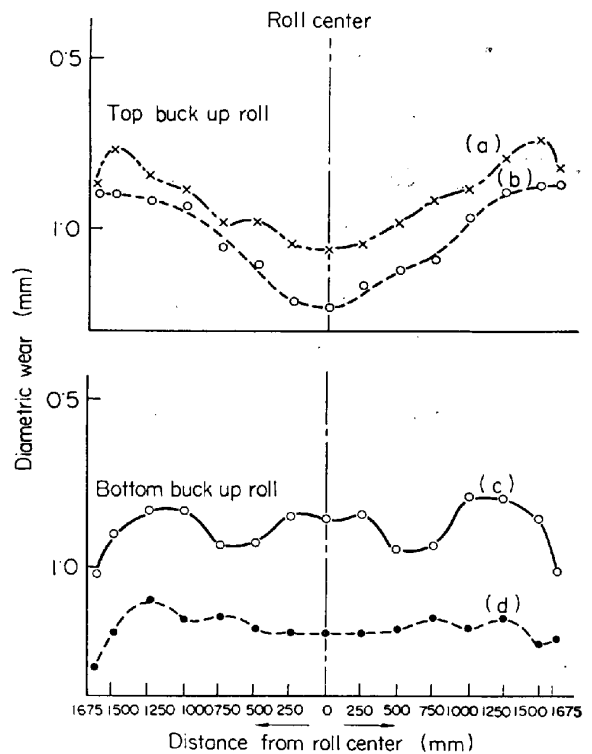


Fig. 2. Wear patterns for a plate mill 4Hi finisher buck up rolls.

バックアップロールの摩耗形状も鋼板中厚に影響するが、Fig. 2 は上下ロールそれぞれ 2 本の 4 週間使用後の

摩耗形状を示す。上ロールは2本共、全体的な摩耗量は別として、胴端と中央の径差は0.3 mm φの中凹となっている。しかし下ロールは、圧延中材料のスケールなどの落下により、下ワークロールと下バックアップロールとの間にこれらスケールがまきこみ、その影響で硬度の低いバックアップロールは全体的に凹凸のある摩耗形状となっており、中央部の中凹は直径で0.1~0.15 mm φ程度である。したがって、鋼板中厚におよぼす影響は上ロールが直径で0.3 mm φ、下ロールが直径で0.15 mm φを考慮に入れればよい。ただしバックアップロールの組替は4週間毎であるので、組入後3~4週目を特にクラウンの計算に入れる必要がある。なおバックアップロールの温度は厳密には問題になるが、程度も低く、ロール径差におよぼす影響はきわめて少ないので省略する。

2.3. ロールの撓み計算

4段厚板圧延機のロール撓みに関する近似式はこれまで多々発表されているが、つぎの仮定から厳密な撓み式を求め、数値計算をした。

- 1) ワークロールとバックアップロールとの間には滑りがないものとする。
- 2) ワークロールと板の間には均一な力が作用し、その圧力はバックアップロールのジャーナルに加わる反力で釣合うものとする。
- 3) ワークロールとバックアップロールとの間に生ずる圧力分布は胴部中央に対して対称な2次曲線の分布とし、胴部の両端、中央、および中間の5点において、それぞれのロールの撓み量は等しいものとする。
- 4) ロールの撓みは曲げと剪断力によつて合成されるものとする。

以上の仮定から求めたワークロールの撓み式は次式で与えられる。(Fig. 3参照)

$$y_w = \frac{1}{E_w I_w} \left\{ \frac{a}{360} x^6 + \frac{b}{120} x^5 + \frac{(c-q)}{24} x^4 + \frac{r}{6} x^3 - \frac{r^2 q}{4} x^2 - \frac{\alpha E_w I_w}{A_w G_w} \left( \frac{a}{12} x^4 + \frac{b}{6} x^3 + \frac{c}{2} x^2 - \frac{q}{2} x^2 \right) + k_w x \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ただし

$$K_w = - \left( \frac{a}{60} l^5 + \frac{b}{24} l^4 + \frac{(c-q)}{6} l^3 + \frac{r}{2} l^2 \right)$$

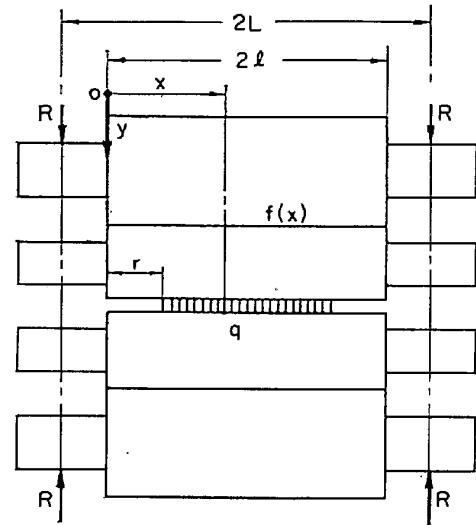


Fig. 3. Each figures for roll bending calculation.

$$+ \frac{r^2 q}{2} l + \frac{\alpha E_w I_w}{A_w G_w} \left( \frac{a}{3} l^3 + \frac{b}{2} l^2 + cl - ql \right)$$

(1) 式中の定数 a, b, c は次の条件から定める。

$$\int_0^l f(x) dx = \frac{a}{3} l^3 + \frac{b}{2} l^2 + cl = (l-r)q \dots \dots (2)$$

さらに、胴部中央および l/2 において、ワークロール、バックアップロールの撓みが等しいとすれば

$$\left. \begin{aligned} x=l \text{ において } y_B &= y_w \\ x=l/2 \text{ において } y_B &= y_w \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

(2) (3)式から3元連立1次方程式がえられ、それを解くことによつて定数を定めうる。

圧延荷重は 1000 t と 2000 t とし、ロールの径別および鋼板巾別の各場合について撓み量を計算し、これから鋼板中厚を求めた。上式の数値計算は電子計算機で行なつた。Table 1 は圧延荷重 1000 t、バックアップロール径 1460 mm φ、ワークロール径 863~930 mm φ、鋼板巾 1600~3100 mm の鋼板中厚の計算結果で、ロールの摩耗や熱膨張を考慮しない撓みだけの中厚である。

3. ロール変形の合成とクラウンの考察

Fig. 4 は以上の摩耗、熱膨張、撓みを合成したロール変形とワークロール組入れ圧延開始後の時間との関係を示す。ただし Fig. 4 のロール変形は鋼板巾 3100 mm を圧延すると仮定したロール位置での変形量で、容易に

Table 1. Plates crown by roll bending calculation, provided that rolling pressure 1000 t and buck up roll diameter 1460 mm φ.

Diameter of work roll	Plate width								
	3100	3000	2800	2600	2400	2200	2000	1800	1600
930	0.41	0.39	0.35	0.32	0.29	0.25	0.22	0.18	0.15
920	0.41	0.39	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.18	0.15
910	0.41	0.39	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15
900	0.41	0.39	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15
890	0.41	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15
880	0.41	0.40	0.36	0.33	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16
870	0.42	0.40	0.36	0.33	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16
863	0.42	0.40	0.36	0.33	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16

Table 2. Relation between work roll crown and plates crown in actual measurement.

(Up to 3 hours after rolling start)

Buck up roll diameter (mm)	Work roll diameter (mm)	Crown (mm)	Plate thickness (mm)	Plate width (mm)	Average plates crown (mm)
1460~1480	870~880	0	19~20	2600~2700	0.27
		0.10	20~21	2500~2600	0.20
		0.20	16~17	2600~2800	0.15

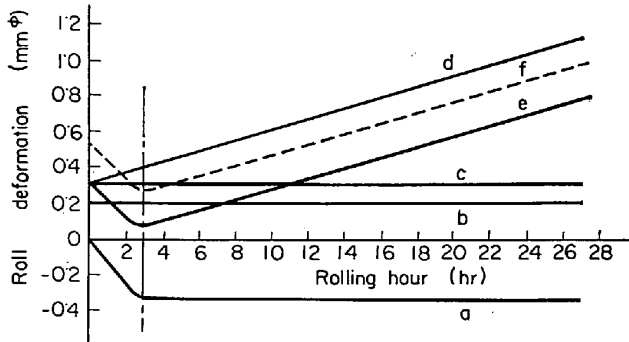


Fig. 4. Relation between roll deformation and rolling hour.

この図からクラウン寸法がわかるように上ロールのみの場合を作図した。またこの場合のバックアップロール径は 1460 mm φ, ワークロール径は 880 mm φ で、その他の数値は平均値を採用した。図中 a はワークロール中央の熱膨張による中高量で 3hr 以後は 0.34 mm φ, b は圧延荷重 1000 t とした場合のロール撓み量(または撓みによる鋼板中厚の 1/2) 0.21 mm, c はバックアップロール使用 3 週間後の半径当たりの摩耗量 0.12 mm に b を加えたもの, d はワークロール直径での摩耗量で 27hr 使用後 0.80 mm φ と b, c の数値を加えたもので 3hr 使用後は 0.09 mm φ, の摩耗量とみてよい。e はロール変形の合成で (b + c + d) - a で、3hr 目の e min の値は 0.08 mm φ となる。つぎに圧延荷重 2000 t の場合のロール変形の合成は同様にして破線 f で表わされ、3hr 目の f min は 0.28 mm φ となる。したがってワークロールのクラウンは 0.08~0.28 mm φ の範囲で付加すればよい。種々のクラウン形状のロールを使用して試験した結果、バックアップロール使用後 4 週目には 0.20 mm φ のクラウンを上下ロールに付けることが効果的に中厚を減少し、最も作業条件に適していることがわかった。またバックアップロールの摩耗の少ない時期には 0.2mm φ より少量のクラウンを適当に付加すればよい。なお実際には鋼板形状を良好にするため、ワークロール組入直後は中間サイズの板巾を圧延し、つぎに最大巾、そして次第に巾のせまい鋼板を圧延しているためクラウンの付加と相まって、全期間を通じ中厚量は非常に微少である。

Table 2 はバックアップロール使用 4 週目に、フラットロールと 0.1 mm φ, 0.2 mm φ のクラウンを上下ロールに付加してワークロール組入使用開始 3hr 以内に圧延した鋼板中厚の実測平均値で、明らかに、クラウンの効果で中厚は減少し、好結果が得られた。しかし鋼板寸法など若干バラツキのある条件で測定したので、クラウ

ンの量だけ中厚は変化していないことは当然である。

#### 4. 結 言

厚板 4 段仕上圧延機のワークロールクラウンを検討するに当たり、ロールの変形を実測または計算し、これに基づいて種々のクラウン付加ロールで試験して最適クラウンを決定し、当厚板工場で実施しているが、鋼板中厚は減少し、作業条件にも適して良好な結果が得られた。

#### 文 献

- 1) C. F. ZOROWSKI and A. S. WEINSTEIN: Iron & Steel Eng., 6 (1962), p. 103
- 2) M. D. STONE: Iron & Steel Eng., 2 (1966), p. 93
- 3) 清水, 内野, 宅見: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p.123

### (143) 厚板仕上圧延機の計算制御について

日本鋼管, 鶴見製鉄所

長瀬光夫・二上 菱・島津知佳夫

○松田一敏・宮部 隆・安居孝司・鈴木基也

日本鋼管, 福山建設本部 松原博義

Computer Control of Plate Mill

Mitsuo NAGASE, Kaoru NIKAMI

Chikao SHIMAZU, Kazutoshi MATSUDA

Takashi MIYABE, Takashi YASUI

Motoya SUZUKI and Hirayoshi MATSUBARA

#### 1. 緒 言

一般に計算制御の目的として

- (1) 品質と歩留の向上
- (2) 要員の節減
- (3) 能率の向上

などが考えられるが、われわれは厚板の原価構成の内容からみて (1) の品質と歩留の向上を圧延機の計算制御の第 1 の目標とすることにして、当社独自の方法で開発を進めてきた。

このシステムは、オフ・ラインの工程管理用計算機と有機的に結合されていて、歩留の向上が一層確実に得られるようになってきている。制御用計算機が行なう圧下スケジュールの計算方式は、板厚制御および形状制御を目的として、圧延機のロールの形状変化を中心としたデータ解析の結果から得られた基準式を、実際のおのおのの鋼板についてのデータで補正していくものである。

昭和 40 年 9 月に制御用計算機(日本電気製 NELOG 310)を設置し、以後調整、試運転、改造を行ない、同年 12 月