

Fig. 4. Displacement at journal center.

が、荷重が大きくなると一致しなくなる。荷重の大きい所ではチョックの傾きなどの変形が無視しえなくなるためと考えられる。バックアップロール軸心の移動軌跡として、水平方向移動量は測定値そのままを、垂直方向移動量はスクリー変化の 1/2 を取ってプロットしたものを Fig. 4 に示す。理論軌跡は青木の近似解²⁾より求めたものであるが、両者はかなり一致している。以上のことから、スクリー変化量はバックアップロール軸受油膜厚みの2倍となると考えてよいと思われる。

4. 板を噛み込んでいる場合の影響

板巾の影響をみるため、種々の巾の板を噛み込みし静止させた状態で圧延圧力を加えた場合、圧延圧力に対するスクリーの移動量 δ とストリップの厚み変化量 Δh が分れば ($\delta = \Delta h$) が圧延機の変形量となるため、ミル定数を求めることができる。板巾 1220, 1000, 800, 600mm に対するミル定数の変化率の測定結果を、Fig. 5 に実線で示すが、板巾が小さくなるにつれてミル定数も小さくなる。

板を噛み込んだ場合、ワークロール同志の接触と異なる点は、板によるワークロールの変形およびワークロール、バックアップロール間の接触変形量が変わること

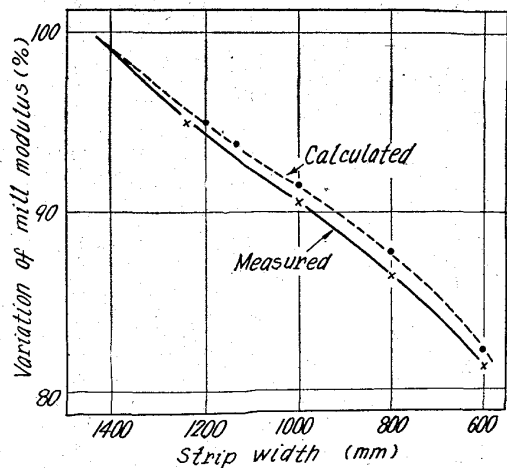


Fig. 5. Effect of strip width on mill modulus.

ある。ロールのバレル長さ方向で接触変形量は異なるが、バレル中央部で考えると、板によるワークロールの接触変形量は

$$\delta = 1.38 \times 10^{-5} P_s \left[L \ln \left\{ \frac{W}{\sqrt{\frac{W^2}{4} + L^2} - \frac{W}{2}} \right\} + L + \frac{W}{2} \ln \left\{ L + \sqrt{\frac{W^2}{4} + L^2} / \frac{W}{2} \right\} \right]$$

L ; ロールとストリップの接触長さ (mm)

W ; ストリップ巾 (mm)

P_s ; 単位面積あたり荷重 (kg/mm^2)

で表わされる³⁾。ワークロールとバックアップロール間の接触変形量は、大まかな近似では両ロール間の接触変形量が巾あたりの荷重に比例することと、両ロールのたわみ曲線と接触変形量がつり合うことより近似的に求めることができる。Fig. 5 の点線が計算により求めたミル定数の変化率であるが、測定値とはほぼ一致している。

5. 結 言

4段冷間圧延機のミル定数は圧延速度が増すほど、また圧延材の板巾が小さくなるほど小さくなる。圧延速度はバックアップロール軸受油膜厚みを変化させ、このためミル定数が変化すると考えられる。板巾はロールの接触変形量を変化させ板巾の狭いほど接触変形量が大きくなるため、ミル定数が減少すると考えられる。

文 献

- 1) 久能, 他: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2053.
- 2) 青木: 潤滑, 3 (1958) 6, p. 285.
- 3) 藤沢, 他: 塑性と加工, 4 (1963), p. 195.

(137) 冷間圧延用作用ロールの残留応力と表面硬度について

(冷間圧延用作用ロールの研究—Ⅲ)

日本製鋼所

工博 下田 秀夫・○阪部喜代三

松尾 治男

Effect of Residual Stresses on the Surface Hardness of the Cold Strip Mill Rolls.

(Study on the working rolls of cold strip mills—Ⅲ)

Dr. Hideo SHIMODA, Kiyozo SAKABE and Haruo MATSUO.

1. 緒 言

冷間圧延用作用ロールは、圧延作業に伴う磨耗および肌荒れに対する特性から、一般にショア硬度 90° 以上の高い表面硬度が要求され、ショア硬度 100° に達するようなロールも少くない。

しかし鋼の焼入硬度は K. J. IRVINE ら¹⁾が指摘しているように一定の限界があるから、なんらかの外的作用がなくては、このような高い硬度に達することは無いと考えられる。一方冷間圧延用作用ロールには、大きな残留応力が内蔵されていること²⁾³⁾、鋼に応力が作用した

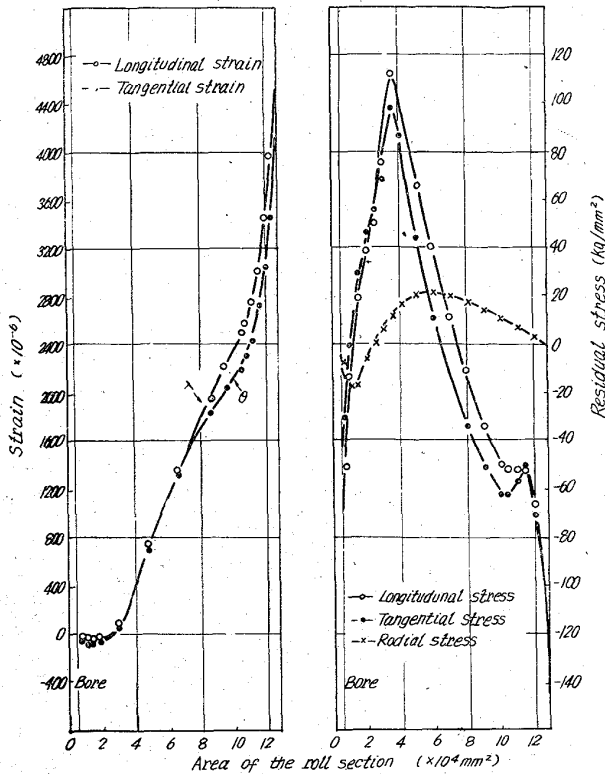


Fig. 1. Distribution of residual stress on the surface of "A" roll and strains measured on boring of center.

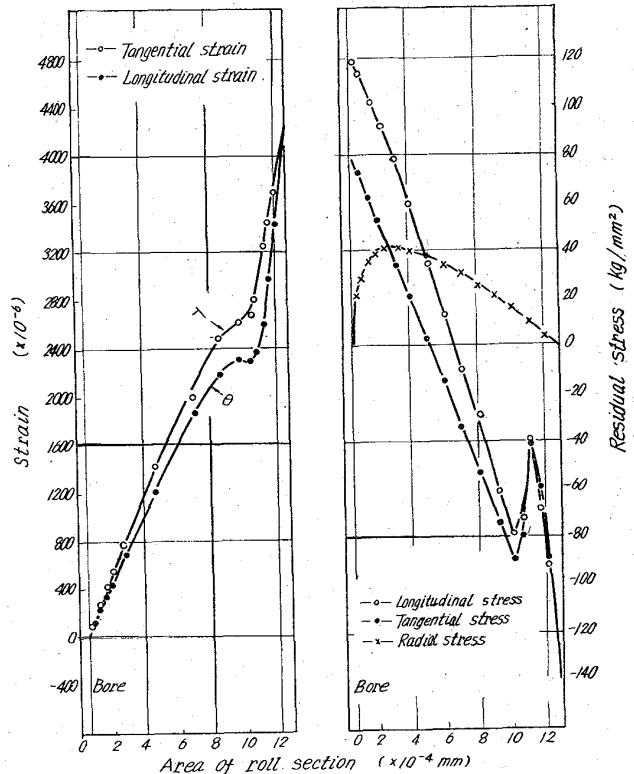


Fig. 2. Distribution of residual stress on the surface of "B" roll and strains measured on boring of center.

場合硬度が変化することが知られているから^{4,5)}, 上記のような高い硬度. ロールの組織自体の硬度に, 残留応力によつて附加された硬度が加へられたものと判断される.

このような見地から, 実際の冷間圧延用作用ロールについて, 前報^{2,3)}に引続き残留応力の測定を実施し, 硬度と残留応力との相関を求めたので報告する.

2. 供試材

試験に用いたロールは, 外径 405mm, 中心孔径 75mm, 胴長 1,370mm の 1.0% C, 1.8% Cr 鋼の鍛鋼ロールであるが, 熱処理条件の異なるもの, すなわちロール断面の残留応力の分布形状の異なるもの各 1 本を選択した. なお硬度, 残留応力の測定に当つては, 供試ロールの胴部中央を大凡ロール径の倍の長さに切断して用いた.

供試ロールの Sachs の内周削りの方法により既報^{2,3)}のごとく残留応力の分布を測定した結果は, Fig. 1 および Fig. 2 に示す.

3. 試験方法

供試ロールの切断および切削に伴うロール表面の歪変化と硬度を測定し, 両者間の関係を求めることとした.

3.1 残留応力の測定法

材料表面の残留応力の測定法としては, X線によるのが最も簡易であるが, 供試ロールのごとき高炭素マルテンサイト状組織の材料については, 十分な精度が期待できないので, Sachs の内周削りの方法を用い, 切削の各段階で得られる材料表面の歪から, 供試料表面の残留応力を計算によつて求めた. この方法による場合, 硬度

測定個所の組織, その他の物理的性質に変化を与えることなく, 残留応力の変化のみによる硬度の変化を測定することが可能である.

供試材料の内周切削の各段階における表面の残留応力は, Fig. 1 あるいは Fig. 2 に示した歪曲線から, 各切削段階ごとに次式の計算を反覆し, 得られた残留応力の分布曲線の外挿値から決定できる.

$$\sigma_z = (E/1 - \mu^2) \cdot \{(f_b - f) \cdot dA/df - A\} \dots (1)$$

$$\sigma_t = (E/1 - \mu^2) \cdot \{(f_b - f) \cdot d\theta/df - \theta\} \dots (2)$$

$$\sigma_r = (E/1 - \mu^2) \cdot (f_b - f)/2f \cdot \theta \dots (3)$$

しかし, この Sachs の計算式による計算操作は複雑なため, 本試験においては, 簡略に次式によつて求められる解放応力から逆算して, 表面の残留応力を決定した.

$$\sigma_z = (E/1 - \mu^2) (\lambda + \mu\theta) \dots (4)$$

$$\sigma_t = (E/1 - \mu^2) (\theta + \mu\lambda) \dots (5)$$

ただし σ_z , σ_t , λ , θ は, 軸方向, 円周方向応力および歪とし, μ はポアソン比, E は縦弾性係数である.

計算によつて得た供試材料表面の残留応力を, 切削内径とともに Table 1~2 に示したが, (1)(2)式と(4)(5)式を用いて求めた表面応力は, 数回の試算の結果, ほぼ完全な一致を示したので, 本試験の目的には簡略式で十分なものと考えられる.

上記の内周切削による残留応力の変化の測定に先立ち, 供試ロールの切断によつても, 切断端より軸心に沿つて表面の残留応力が変化する. この変化は, おもに軸方向残留応力の解放によるものであるが, 供試ロールについても切断予定面より軸心に沿つたロール表面に, 連

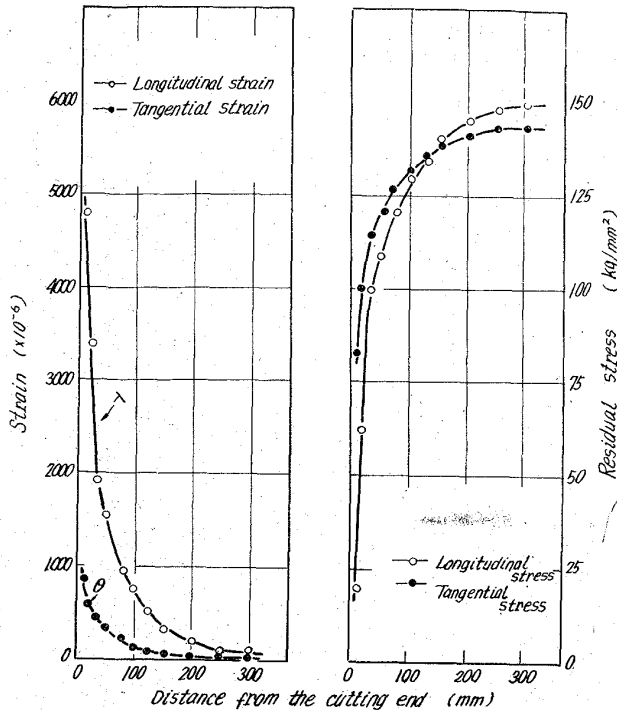


Fig. 3. Distribution of the residual stress and strains measured on cutting of body of "A" roll.

統的に貼付した抵抗線歪計を用い、切断前後の歪計を用い切断前後の歪変化から、内周切削の場合と同様の手法で、切断端からの表面残留応力の分布を求めた。切断に伴う歪変化と残留応力の分布を Fig. 3 に示した。

なお、これらの応力測定に当って用いた抵抗線歪計は、標点距離 10mm のもので、歪測定はすべて恒温に保った状態で実施した。

3.2 硬度の測定法

硬度は、シヨア硬度および荷重 20kg のピッカース

硬度を同一個所について測定し、シヨア硬度は 5 回の測定値の平均を、またピッカース硬度は 3 回の測定値の平均をもつて表示することとした。

測定箇所は、残留応力測定のために供試ロール表面に貼付した抵抗線歪計と同一円周上で、かつ歪計のごく近傍に限定し、応力測定のための切断、切削の都度、硬度を測定した。

測定結果を Table 1~2 に示したが、切断端や供試材料の内周切削のための肉厚減少による測定硬度の誤差の介入を避けるため、切断端より 20mm 以内、肉厚 20mm 以下の場合の測定値は切り捨てた。

4. 試験結果の検討

Table 1~2 から供試材料の表面の残留応力の減少にしたがいシヨア、ピッカース硬度とも低下し、残留応力によつて硬度が附加されていることは明らかである。

しかし、測定された残留応力は、すべて 2 軸の応力であるため硬度と残留応力の関係を定量的に取扱うためには、応力の状態を単一の特性値に転換して表示する必要がある。多軸応力が作用する場合の降伏条件は、最大剪断応力説や剪断歪エネルギー説で決定されるが、剪断歪エネルギー説では、作用する 3 軸の応力を次式によつて、単一の相当応力として表示する。

$$\sigma_e = 1/\sqrt{2} \cdot \sqrt{(\sigma_z - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2} \dots \dots \dots (6)$$

本試験の残留応力も、これによることとして、測定された 2 軸応力を (6) 式より 1 軸の相当応力に転換して Table に示した。これより残留応力と硬度の関係を求めると、Fig. 4 に示すように残留圧縮応力の増加とともに、ほぼ直線的な関係で硬度が上昇する。

換言するならば、今冷間圧延用作用動ロール表面の残留応力を、1 軸の相当応力で 150 kg/mm² の圧縮応力と仮定するならば、ロールの素材自体の硬度に加へ、シヨア硬度およびピッカース硬度およそそれぞれ 6 および 120 増加する。

Table 1. Residual stress and hardness on the surface of "A" roll at each stage of the center bore having been enlarged.

Boring out dia. (mm)		0	102	123	141	158	196	246	289	339	349	365
Residual stress (kg/mm ²)	Longitudinal stress	151.5	154.1	154.3	154.2	150.0	146.5	127.4	107.5	89.6	83.0	75.1
	Tangential stress	144.3	146.5	147.1	146.6	145.4	140.4	121.1	112.4	80.5	73.5	66.1
	Equivalent stress	148	150	151	151	147	144	125	109	85	79	71
Hardness	Shore hardness	98.0	98.2	97.0	98.6	98.0	97.0	95.2	94.0	92.6	90.8	90.2
	Vickers hardness	855	841	845	859	870	854	826	833	785	799	778

Table 2. Residual stress and hardness on the surface of "A" roll after the roll body were cut.

Distance from cutting end (mm)		20	25	50	75	100	125	150	200	250	300
Residual stress (kg/mm ²)	Longitudinal stress	62.2	100.8	109.0	121.0	130.3	136.8	142.0	144.7	146.6	148.3
	Tangential stress	100.7	115.1	123.7	127.4	133.4	136.7	139.0	140.4	141.6	142.7
	Equivalent stress	83.8	108.2	116.6	125.0	131.9	137.7	140.5	142.5	144.1	146.5
Hardness	Shore hardness	92.0	93.6	94.0	95.8	96.2	96.0	97.0	—	—	97.4
	Vickers hardness	789	818	817	822	832	840	841	—	—	848

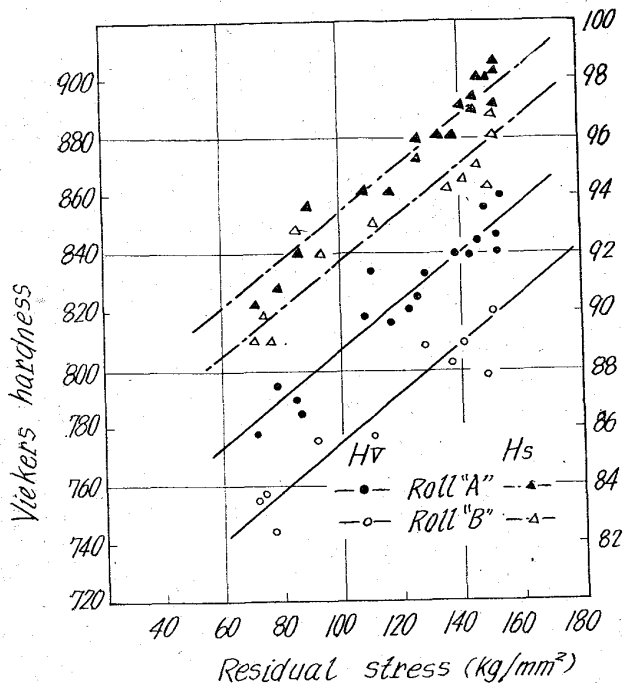


Fig. 4. Relation of vickers hardness and translated residual stress.

この種のロールは、常に $100 \sim 200 \text{ kg/mm}^2$ のロール表面の残留応力を有するから、ロールの硬度を評価する場合、残留応力による附加硬度についての配慮を必要とする。圧延作業に当って、可能な範囲の高い硬度が要求されるが、圧延作業に重要な作用を与えるのは、ロール素材の組織にもとづく硬度なのか、残留応力による附加硬度なのかは、判断とは分離して考察されておらぬので、今後磨耗、肌荒れに対する附加硬度の作用を追求する必要があるものと考へられる。

5. 結 言

冷間圧延用動作ロールについて、切断、内周切削を行わない、表面硬度と残留応力を求めたが、残留応力を剪断歪エネルギー説によつて単一の相当応力で表示すると、残留圧縮応力の増加にしたがい、ショアおよびピッカース硬度が直線的な関係を示して上昇することを示した。また残留応力による附加硬度の重要性に附言した。

文 献

- 1) K. J. IRVINE et al.: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 196 (1960) 1, p. 66.
- 2) 下田, 阪部, 松尾: 鉄と鋼, 50 (1964) 12, p. 2063
- 3) 下田, 阪部, 松尾: 鉄と鋼, 50 (1964) 12, p. 2066.
- 4) G. SIMES, R. CARLSON: ASTM, Bulletin, 215 (1956) July, p. 35.
- 5) F. MICHALSKI et al: Material Prüfung, 5 (1963) 4, p. 154.

(138) 鍛造フローおよびゴーストの転動被害におよぼす影響

(補強ロール材の転動被害に関する研究—Ⅲ)

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 下田 秀夫・工博 荒木田 豊

堀 清・○工藤 浩一

Effect of the Fiber Structure Produced by Forging and Ghost Spot on the Damages of Rolling Contact.

(On the damages due to rolling contact of back up roll materials—Ⅲ)

Dr. Hideo SHIMODA, Dr. Yutaka ARAKIDA,

Kiyoshi HORI and Kōichi KUDŌ.

1. 緒 言

鍛造した材料のマクロ腐食像は、一般にファイバー状のフローがみられ多くの場合それが材料の強さに異方性を生ずることが知られている。¹⁾ 本報告では、ロール転動面におけるこのファイバーの方向が転動による被害と関係があるかどうかを実験的に調べた結果について述べる。一方鍛造した材料のマクロ腐食像でつねにこれと同時に注目されるものにゴーストがある。ゴースト部の疲れ強さについてもいくつかの研究がなされており、ゴーストクラックを含まないようなゴースト部では、疲れ限度の低下は比較的少ないと報告しているものもある。²⁾

ころがりによる被害におよぼす因子は疲れのほかにも数多くあり、それらの相互作用も複雑であろうから通常の疲労試験の結果から材料のころがりによる強さを評価することは難しい。これに加えて転動におよぼすゴーストの影響を直接に調べたものは見当たらない現状であるので、この報告ではゴーストの転動による被害におよぼす影響についてもふれる。

2. 試料および試験方法

供試材として2段リム材 (Cr-Mo 鋼) の廃品を充当した。この材料の化学成分を Table 1 に示しておく。

このリム材はインゴットのT端部より、掘込、孔明、荒延、仕上、の過程をへて製作されたものであり、鍛造比は $1.4U$, $1.8M$, および $2.3E$ となつている。この材料は超音波探傷検査所見では有害であるゴーストクラックはないことが示されていたが、油切り溝を切削中ゴーストスポットが出現し使用を中止したものである。Fig. 1 に供試材の形状と寸法を示す。図に示すように I, II, III, および IV の4つのブロックを切り出し、各ブロックから8ないし12個の試験片³⁾を削り出し合計40個用意した。IおよびIIからは、試験片転動面の母線とリム材の軸方向とが平行になるように20個の試験片を製作しこれらをグループAとした。またIIIおよびIVからは、試験片転動面の母線とリム材の切線方向とが平行になるように、20個の試験片を製作しこれらをグ

Table 1. Chemical composition of specimens (wt.%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.45	0.30	0.60	0.017	0.006	0.13	0.97	0.26	0.11