

Fig. 5. Distributions of residual stress in the diameter 405mm. 1% C, 1% Cr forged roll for cold strip mill and strains at stress measuring.

ことを示すものとする。

V. 結 言

大型材の残留応力の測定に当つて留意すべき 2~3 の事項を、事例を挙げて述べた。大型材の残留応力測定の実績の少ない点からも、今後測定を試みんとする場合、なんらかの参考になれば幸いであるとする。

文 献

- 1) G. SACHS: Zeit Metalkunde, 19 (1927), p. 352
- 2) 下田: 日本金属学会誌B, 14 (1950) 3, p. 13~16
- 3) H. TREPPSCHUS: Arch. Eisenhüttenw., 10 (1960), p. 354~360
- 4) F. W. JONES: Steel and Coal, (1960), p. 429~436

539,422:539,319:62,771,019
62,771,07:62,771,237:016,3
(186) 冷間圧延用作用ロールの残留応力と早期破壊現象について

(冷間圧延用作用ロールの研究-II)
日本製鋼所 No.64348

工博 下田秀夫・○阪部喜代三・松尾治男

Effect of the Residual Stress on the Premature Failure of Cold Strip Mill Rolls.

(Study on the working rolls of cold strip mills-I)

Dr. Hideo SHIMODA, Kiyozo SAKABE and Haruo MATSUO

I. 緒 言

冷間圧延用作用ロールは、圧延の際の高い圧延圧力に

耐え、かつ磨耗に対する抵抗性から高い表面硬度が要求されるため、一般に高炭素クロム鋼の特殊鍛鋼ロールを水焼入し、100~250°C程度の低温で応力除去焼鈍を行なつた状態のものが用いられる。

したがつてロール内部には、きわめて大きな熱処理応力が残留するため、置き割れ、表面焼入硬化層のチル剥げなどの事故を発生することが多い。

筆者らは熱処理条件をかえた多くのロールについて残留応力を実測する一方、計算によつて残留応力の分布を求める方法を報告¹⁾したが、さらにロールの中心孔壁よりの疲労による早期異常破壊現象について、残留応力の点から検討を加えたので報告する。

II. ロール中心孔からの早期破壊現象

圧延作業中、ロール外径が楕円変形を起し、はなはだしい場合には割れを発生する現象が認められる。これらのロールの軸方向破断面を Photo. 1 に、また径方向断面を Photo. 2 に示したが、破壊はロール中心孔壁を起点として、ロール表面側に進展した疲労破壊である。

この破壊現象は、ロール使用の初期に発生し、通常のロールの寿命に対してわずか 1/10~1/20 の圧延使用時間で使用不可能に陥いる。また破壊現象の発生は、特定の工場で、特定の時期に生産された少数のロールのみに

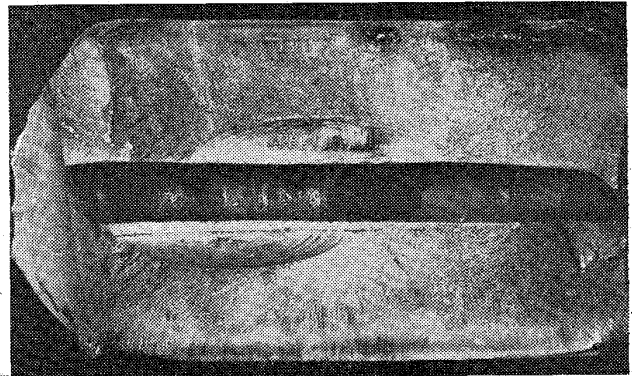


Photo. 1. Fracture of the failed roll.

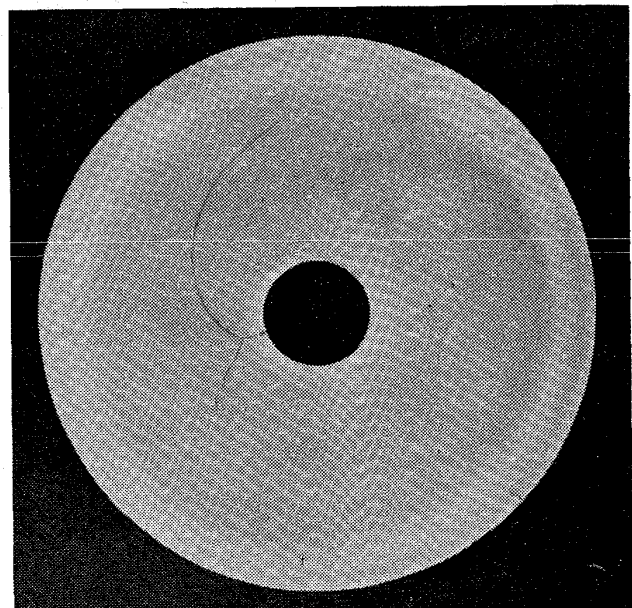


Photo. 2. Section of the failed roll.

限られ、あきらかに異常な現象であるが、ロール使用前の硬さ、組織には異なる点はなく、超音波探傷検査あるいは中心孔の疵見検査においても欠陥の存在は検出されていない。

なほこの種類の破壊現象については、2~3の報告^{2)~4)}もあるが原因は明確にされていない。

III. ロールの残留応力

上述のごとく、通常の試験、検査によつては、破壊の因子を求められないため、早期破壊を起したロール群と破壊を発生せざる正常なロール群より抽きとつたロールについて、SACHSの内周削りの方法によつて残留応力の測定を試みた。供試ロールは、いずれも外径 405mm、中心孔径 75mm の 1.0% C, 1.8% Cr 鋼製のものである。測定に当つては、ロール胴部中央を大凡ロール径の 2.5 倍の長さで切断したものをを用い、既報⁵⁾の通り切削時の温度上昇、歪測定時の温度変化などに十分の留意を払つた。

測定の結果を断面の硬度分布とともに Fig. 1 に一括して示した。両者の残留応力の分布形状は、いずれも熱応力型のもので判断されるものであるが、ロール中心部の残留応力の分布にかなりの相異が認められ、特に中心孔壁の残留応力は、早期破壊を起したロール群のものでは 14kg/mm² の引張り応力、早期破壊を発生しなかつた正常なロール群のものでは 70kg/mm² の圧縮応力を示した。

両者のロール間には前記のように、組織、硬度分布、内部欠陥の有無など、ロールの性状に差異は認められぬことから、異常破壊の原因は残留応力の分布の差異に基づくものと考えられる。

IV. ロール内部の作用応力

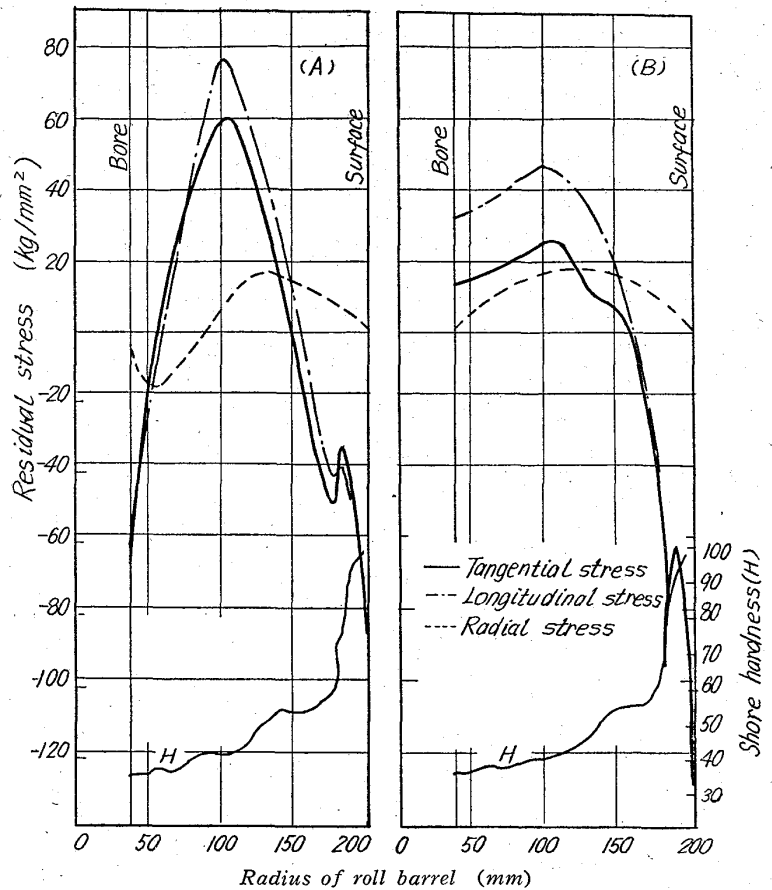
圧延作業中、ロールは圧延圧力による負荷によつて、上下から一種の圧潰荷重を受けながら回転していることとなり、ロール内部にはこの負荷によつて作用応力が発生する。この作用応力は、肉厚の環が外部荷重を受けた場合と同様に考えれば次式⁶⁾で表わすことができる。ただし、この際の諸元は Fig. 2 のとおりとする。

$$\sigma = \frac{P}{4e} \left[\frac{-2}{(1+K)\pi} + \frac{1}{K} \left(\frac{-2}{(1+K)\pi} + \cos\theta \right) \frac{\eta}{r+\eta} \right]$$

ここで $P = \frac{w}{l}$

$$K = \frac{1}{3} \left(\frac{e}{r} \right)^2 + \frac{1}{5} \left(\frac{e}{r} \right)^4 + \frac{1}{7} \left(\frac{e}{r} \right)^6 + \dots$$

圧延圧力は被圧延材の板巾 1m 当り大凡 700~1,500 t であるが、ロール面の摩擦係数、素材の変形抵抗、圧下率、前方および後方張力の大きさや潤滑材の種類などによつて異なってくる。今妥当なロール負荷としてロール胴長当り 1,000 t/m とすると、ロール内部の作用応力は Fig. 3 に示すように、圧下の受ける a-a 断面ではロール表面に圧縮応力、ロール中心孔面に引張り応力を生ずる。また a-a 断面より 90° 移動した b-b 断面では逆にロール表面に引張り応力、ロール中心孔面に



(A): Roll of unfailed group. (B): Roll of failed group.

Fig. 1. Distributions of residual stress and hardness in the roll sections.

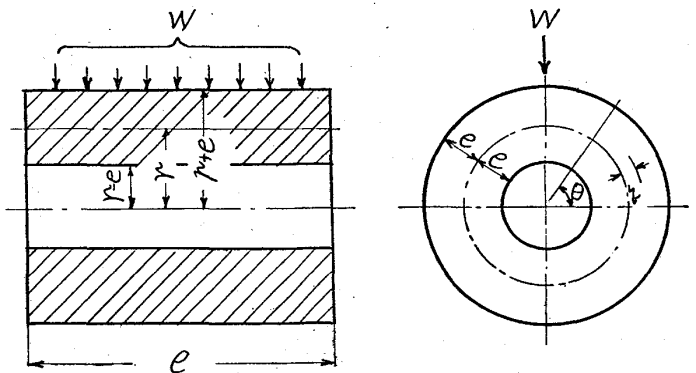


Fig. 2. Dimensions in the calculation formula of working stress of roll section.

圧縮応力を生ずる。

すなわち圧延作業中、ロール中心孔壁は繰り返し曲げ作用により 13.9 kg/mm² の引張り圧縮応力を受けながら回転し続けることとなる。

V. 早期破壊の過程

ロール中心部よりとつた試料についての材力試験の結果は、引張り強さ 71 kg/mm²、降伏強さ 49 kg/mm²、回転曲げ疲れ強さ 31.4 kg/mm² であつた。この疲れ強さは、表面仕上状態のよい小型試験片についてのもので

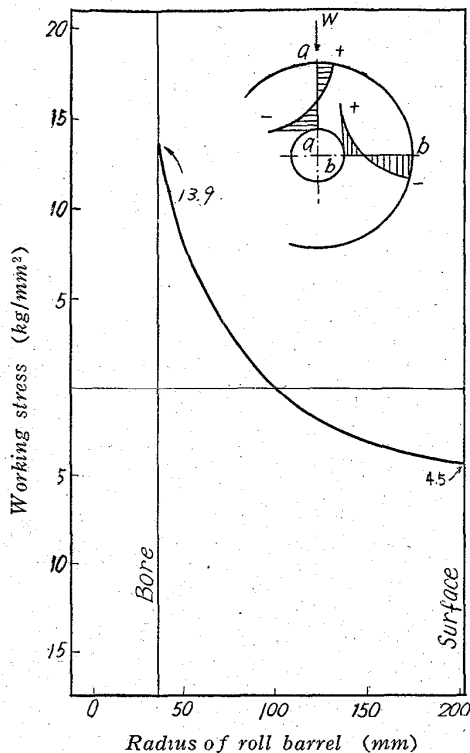


Fig. 3. Distribution of working stress in roll section. Mill load to roll length: 1,000 t/M.

あるが、実際のロール中心孔壁面の機械仕上げの状態は悪く、また若干の脱炭層の存在も認められるから、ロール中心孔の疲労現象を検討するに当つては、 31.4 kg/mm^2 の疲れ強さをそのまま用いることはできない。さらに寸法効果による疲れ強さの低下率もとり入れねばならない。

表面仕上状態の不良に因る疲れ強さの低下率⁷⁾を20%とし、寸法効果による同土低下率⁹⁾を20%とすれば、実際のロール中心孔壁の疲れ強さとして 18.8 kg/mm^2 をとることができる。

圧延作業中のロールの中心孔壁にかかる作用応力は、前記のように $\pm 13.9 \text{ kg/mm}^2$ であるのに対して、考えられる疲れ強さは 18.8 kg/mm^2 であるから、なんらかの欠陥の存在あるいは残留応力の影響を考えなければ破壊現象を説明することができない。すでに述べたように早期破壊を起したロールには、内部欠陥の存在を検出していないから、残留応力の影響が大きいと考えるべきである。

疲れ強さにおよぼす残留応力の作用は、一般に残留応力が圧縮応力の場合に疲れ強さを高め、引張り応力の場合には疲れ強さを低めるとされている。しかし繰り返し応力によつて残留応力が減ずる場合¹⁰⁾もあつて、疲れ強さに作用する度あいは明らかでない。

冷間圧延用作用ロールの場合、圧延作業に使用した前後の残留応力には、ほとんど変化が認められないから、ロール中心孔の疲労破壊に対して残留応力を平均応力と考えることができ、平均応力のある場合の疲労現象として取り扱える。

疲れ強さにおよぼす平均応力の影響については、多くの実験結果が発表されているが、G. SINES¹¹⁾によつて整理されたものによると、早期異常破壊を起したロール群のものから抽きとつたロールの中心孔壁の引張り残留応力 14 kg/mm^2 を平均応力とし、応力振巾を圧延作業中にロール中心孔壁にかかる応力から 13.9 kg/mm^2 とした場合、中心孔壁の引張り圧縮疲れ強さ 18.8 kg/mm^2 は見かけ上 14 kg/mm^2 程度まで低下することとして取り扱うことができる。

したがつて圧延作業中 $\pm 13.9 \text{ kg/mm}^2$ の作用応力が働いた場合、疲労破壊を起してもさしつかえないこととなる。

以上のことから冷間圧延用作用ロールの中心孔壁からの疲労による早期破壊の原因は、残留応力、特に引張り応力の残留応力にあると結論することができる。またロール中心孔部に圧縮応力が残留している場合は、疲れ強さを増すから、引張り応力が残留するか、圧縮応力が残留するかによつて、破壊に対する抵抗性にいちじるしい差異を生ずるに至る。

V. 結 言

冷間圧延用作用ロールについて、ロール中心孔から早期異常破壊を起したロール群と破壊を発生しない正常なロール群から抽きとつたロールの残留応力を測定し、両者間に差異のあること、さらに圧延作業中のロールに働く作用応力から、この残留応力、特にロール中心孔部の引張り応力が早期疲労破壊の原因であることを確めた。

本報告では、両者のロール間に認められた残留応力の分布に相異の生じた過程について、触れなかつたが、この問題については改めて次回に報告する考えである。

文 献

- 1) 下田: 日本金属学会誌B, 14 (1950) 3, p. 13~16
- 2) A. A. BRADD: Iron and Steel Eng., 38 (1961) 2, p. 85
- 3) V. G. BORISENKO, S. A. BOZHKO, A. H. SOREBRENNIKOV: Stal (in English) (1962) 5, p. 384~386
- 4) V. G. GURÉV, M. G. GEDBERG, S. G. TERENTÉV, L. T. SHEPEL: Stal (in English) (1963) 5, p. 379~381
- 5) 下田, 阪部, 松尾: 鉄鋼協会, 昭和39年10月第68回秋期講演会
- 6) 南日: 材料力学(下) 養賢堂
- 7) Arbeitsblatt VDI, Zeit. VDI, 77 (1933)
- 8) G. A. HANKINS: Prevention of Fatigue of Metals (Battle) (1949)
- 9) R. E. PETERSON: Jour. App. Mech., 3 (1936), p. 150
- 10) H. BÜHLER, H. BUCHHOLTZ: Stahl u. Eisen 57 (1937), p. 389
- 11) G. SINES: 金属材料の強度と疲労総合シンポジウム(第5回) 日本金属学会他関連諸学会共催予稿集(1950), p. 1