

技術報告

組立式補強ロールの残留曲がりについて*

堤 三郎** 原 千里** 吉井 省三**

The Residual Deflection of Sleeved Back-up Rolls

Saburō TUTUMI, Senri HARA, and Shōzō YOSHII

Synopsis:

The residual deflection of sleeved back-up rolls for four high mills is described.

At first the mechanism and the cause of the residual deflection are described. Furthermore, the investigation how to prevent the residual deflection are discussed. It is confirmed that applying the fluid pressure on shrink-fitted surface is most effective.

(Received Sept. 22, 1970)

1. 結 言

一般に金属、特に鋼板の圧延用四重式圧延機においてスリーブ組立式補強ロールが多く用いられるが、組立式ロールはその構造上焼ばめ面に応力が必然的に作用し、一体ロールに比べて一般に残留曲がりが発生しやすいといわれている。補強ロールの曲がりは板厚の変動に直接影響を及ぼすものであるから、その防止対策について多くの研究がなされてきた^{1)~6)}。長年の研究の成果としてもつとも新しい対策を適用した組立式補強ロールは一体ロールに比べて曲がりの点で何らそん色ないことが確認されるに至った。

本報では曲がりの発生機構とその防止対策ならびにその効果について述べる。

2. 組立式補強ロールとその曲がりの特徴

補強ロールに要求される性能としては、曲がりが発生しないことのほかに下記のことが必要とされる。

- (1) 軸部は高荷重に耐えるよう強じんであること。
- (2) 胴部はスポーリングに対して十分な強さを有すること。

以上の点で組立式ロールは一体ロールよりもすぐれている。またスリーブの取り替えが可能でありロール原単位が安くつく。したがって、スリーブ組立式補強ロールは曲がりの問題がなければ一体ロールよりも有利で経済的であることはいうまでもない。なお、曲がりの許容限はミルによつて異なり一様ではないが、通常振れの値で

20~40 μ 以下とされている。一体ロールでも曲がりが発生するがその値は比較的小さく、また発生頻度においてスリーブ組立式よりも少ない。

スリーブ組立式補強ロールはFig. 1に示すようにアーバにスリーブを焼ばめして製作される。焼ばめ代比は一般に $0.5 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ の範囲である。焼ばめ代比が 0.5×10^{-3} 以下では圧延中にスリーブが円周方向、あるいは軸方向にすべりやすいことが経験的に知られており、また焼ばめ代比が 1.0×10^{-3} 以上では使用中にスリーブが割れを起こす危険が大きいといわれている。スリーブの外径に対するアーバの外径の比はすべり抵抗力の点から通常0.7前後の値が選ばれる。

以上のように設計され製作された組立式補強ロールはこれまでしばしば使用時に曲がりが発生して問題になった。この曲がり発生現象について、つぎのような点が明らかにされている^{1)~6)}。

- (1) 曲がりは曲げ剛性の大きい胴部で生じていること。(スリーブを焼き抜くと曲がり解消することからアーバの弾性変形であることがわかる。)
- (2) 曲がりの発生したロールでは胴端部においてスリーブとアーバ端面に軸方向のずれが生じていること。
- (3) 曲がりは新品ロールの比較的使用初期に発生しやすい。
- (4) 一度曲がりが発生したロールを研削するか、あるいはそのまま使用を続けると、つぎには180°方向の

* 昭和45年9月22日受付

** 住友金属工業(株)製鋼所

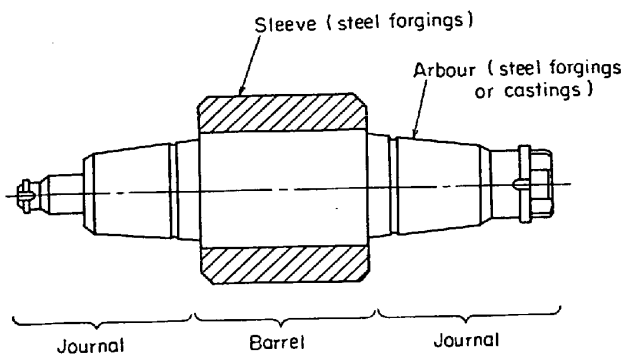


Fig. 1. Sleeved back-up roll.

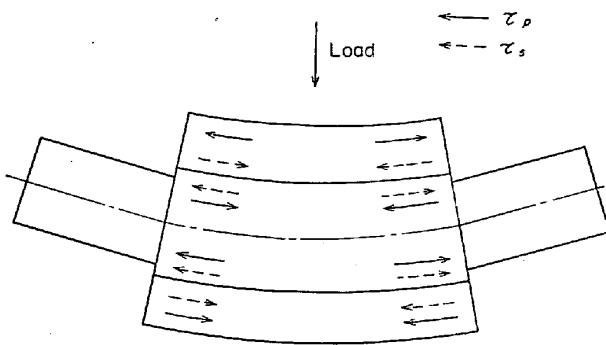


Fig. 12. Model of distribution of shearing stress.

反対に曲がる可能性が大きい。

(5) 過大荷重あるいは衝撃的な荷重が加えられた場合に曲がりが発生しやすい。

3. 残留曲がりの発生する機構

3.1 焼ばめ面に作用する応力

スリーブ焼ばめに伴う摩擦抵抗力を τ_f 、圧延荷重により焼ばめ面に生じるせん断応力を τ_p 、スリーブ焼ばめに伴って軸方向に残留する応力に起因する焼ばめ面でのせん断応力を τ_s とすれば、荷重側と反荷重側とは Fig. 2 に示すように焼ばめ面に応力が作用する。

つまり荷重側では τ_p と τ_s が打消し合うが反荷重側では、 τ_p と τ_s が重乗する。この際 $\tau_p + \tau_s < \tau_f$ の条件であればスリーブはすべることがなく曲がりが発生しない。反対に $\tau_p + \tau_s > \tau_f$ の条件になれば反荷重側のスリーブは収縮する方向にすべり、この際スリーブがアーバを捕そく把持するためアーバは弾性変形を起こし、曲がりが生じる。

上述の τ_f 、 τ_p 、 τ_s はそれぞれつぎの傾向をもつ値である。

(1) τ_s は焼ばめ方法によつて異なる。具体的には、焼ばめされたスリーブが常温まで冷却される間に、スリーブには引つ張り応力が、アーバには圧縮応力が残留し

それらの応力により、焼ばめ面にせん断応力が生じ、その大きさは焼ばめ方法によつて異なる。

(2) τ_p はすでに求められており⁵⁾スリーブが収縮する方向を正しくすれば、荷重側で最小となり、反荷重側で最大となる。 $(\tau_p)_{max.}$ は次式で示せる。

$$(\tau_p)_{max.} = \frac{2P(R_2^2 - R_1^2)}{3\pi R_2^4} \left(\frac{L_0 - 2Z}{L_0} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 R_1 ：スリーブ内半径、 R_2 ：スリーブ外半径、 P ：等分布している圧延荷重、 L_0 ：スリーブ全長、 Z ：スリーブ胴端からの軸方向変位。

(3) τ_f は焼ばめ面における焼ばめ面圧と摩擦係数との積であり、焼ばめ代比、焼ばめ面の状況により変わる。

以上のそれぞれの値を胴径 1 524 mm ϕ 、スリーブ内径 1 082 mm ϕ 、胴長 2 047 mm の実体ロールについて求めてみる。

圧延荷重を 3 000 t とすれば、式(1)から、 τ_p は胴端において最大となり、 $(\tau_p)_{max} = 0.55 \text{ kg/mm}^2$ となる。焼ばめ代比を 0.7×10^{-3} とすれば、焼ばめ面圧 p は 3.7 kg/mm^2 であり、摩擦係数は 0.2 程度と考えられるので、 τ_f は 0.75 となる。

これらの関係を図示すると Fig. 3 のようになる。ここで τ_s は焼ばめ方法によつて異なるので仮想線として入れた。

3.2 曲がりの主要原因

Fig. 3 からわかるように組立式補強ロールの曲がりの原因として一般につぎの 2 項目を挙げることができる。

3.2.1 スリーブ焼ばめによる不均一残留応力の影響

Fig. 3 に示したように、焼ばめによる軸方向の不均一残留応力が 0 またはそれに近い状態であれば、通常の圧延作業においては組立式補強ロールは曲がるものではない。しかし実際問題として従来の焼ばめ方法ではどのような方法で行なつていても残留応力を 0 またはそれに近い状態にすることはできなかつた。

さらに不均一に残留した応力が除去されることなく機械加工され見か上げの偏心が除去されて使用されることがあつたが、このようなロールでは前述のごとく比較的早期に正常な圧延条件の下でも圧延荷重によつて不均一応力が除去されるにつれて曲がりが生じることが多かつた。

3.2.2 過大荷重による影響

絞り込みなどによる過大荷重によつて曲がりが発生することは実際に多く経験されていることである。この機構は Fig. 3 からわかるとおり、圧延荷重によるせん断

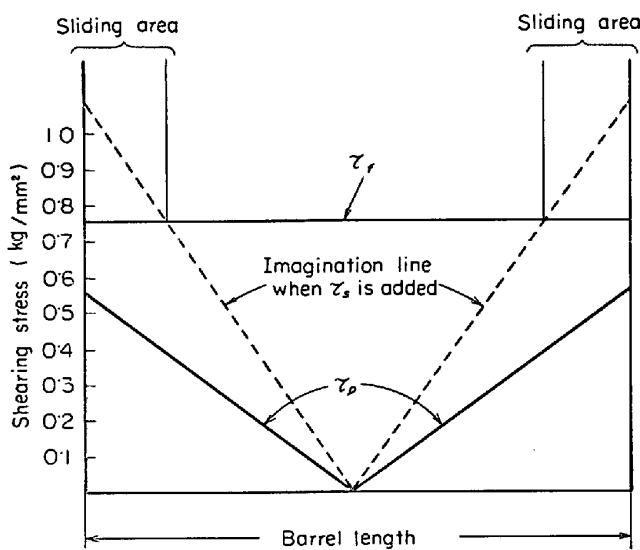


Fig. 3. Relation between each shearing stress on shrink fitted surface.

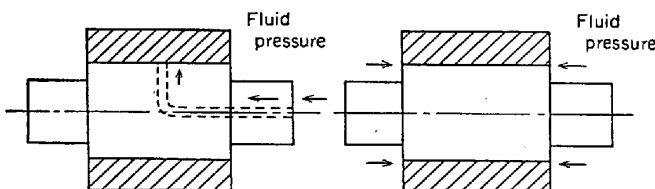


Fig. 4. Method of applying fluid pressure.

応力が異常に大きく作用しスリーブのすべりを容易にすることにあり。

なお、圧延作業中には曲がりは認められないが、圧延完了後の研削作業中に曲がりが認められる場合がある。このことは、圧延作業中のロールの反荷重側には常にスリーブのすべりが生じているが、ロールの回転につれてすべりの位置が常に反荷重側に一樣に起こるため、圧延作業中には曲がりとして認められないが、圧延完了後には圧延完了時点の最終のスリーブのすべり位置方向に残留曲がりが生じている現象であると考えられる。

4. 曲がり防止対策とその効果

3項で述べた曲がりの発生機構から、その防止対策として種々の方策が考えられるが、モデルロールおよび実体ロールにおいて適用した対策をその効果について以下に述べる。

4.1 焼ばめ方法の改善

基本的な対策として焼ばめ方法の改善が行なわれるのは当然のことである。

当社においても、かつては市ガスを用いた簡単な焼ばめ加熱装置を使用し焼ばめ後そのまま冷却する方法によ

つていたがこの方法ではスリーブの両端から先に冷却することになり、スリーブは収縮しきれず残留応力を大きくしていた。ついでスリーブの一端から順次冷却させる作業方法をとつた。さらに応力の軽減を計るため、スリーブ各部の冷却速度を自動制御しうるように設計された焼ばめ用電熱炉を用いる方法を採用した。

以上のような焼ばめ方法の改善はただちに焼ばめ後のロールの曲がりの大小となつてその効果が確認された。すなわち、ガス加熱の放冷方法によれば平均約 50μ 、最大約 100μ もの振れが生じていたが、冷却速度を自動制御する方法によつてからは平均約 20μ 、最大約 50μ の振れに収めることができた。焼ばめ後の振れの大小は使用中の曲がりの発生の危険性に結びつくと考えられるから、その意味では効果があつたといえる。しかしながら曲がりの許容限がきびしいか、あるいは圧延荷重が高いミルにおいては、焼ばめ方法の改善のみで問題を完全に解決するまでに至らなかつた。

4.2 焼ばめ面条件による対策

焼ばめ面における τ_f を変化させることによる対策が考えられているが³⁾、著者らの試験では、単独の対策として満足しうる結果が得られなかつた。それは、Fig. 3 からつぎのように考えれば理解できる。

τ_f を小さくするために、焼ばめ代比を小さくすること、または焼ばめ面に MoS_2 の潤滑剤を介在させることは、焼ばめに伴う軸方向残留応力を減少させることに役立つが、 τ_p によつて残留曲がりが生じやすくなる。また逆に τ_f を大きくする方法は、焼ばめに伴う軸方向残留応力を大きくさせるので、必ずしも $\tau_p + \tau_s < \tau_f$ で示せる曲がり防止条件を好転させない。

つぎに焼ばめ面の形状において胴部の両端部分は漸次焼ばめ代を少なくするか0にし、中央部分で焼ばめ把握力をもたす方法を考案した。スリーブの両端がすべつても、アーバを捕そく把持することなく容易にもとに戻りうる機構を試みたものである。この考え方はモデルロールによる試験では効果が確認され、実体ロールについても適用されて従来方案によるロールよりも曲がりが少ないことが明らかになつたが、前記4.1項と同様完全に問題を解決するまでに至らなかつた。さらに加えてスリーブ全体がずれやすいという問題が付随した。

4.3 焼ばめ面に流体圧を加えて焼ばめによる残留応力を除去する方法

長年にわたる基礎的研究と実体ロールの曲がりの状況の解析結果から、根本的な対策として、焼ばめに伴う軸方向残留応力を除去することが第一であると考えられた。その方法として、スリーブ焼ばめ後、焼ばめ面に流

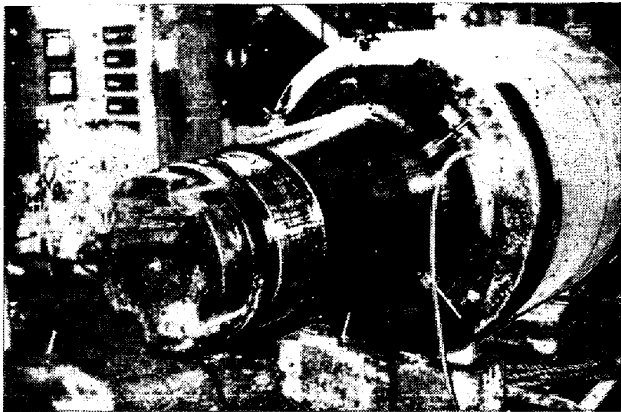


Photo. 1 Picture of a roll under the operation of fluid pressure applying.

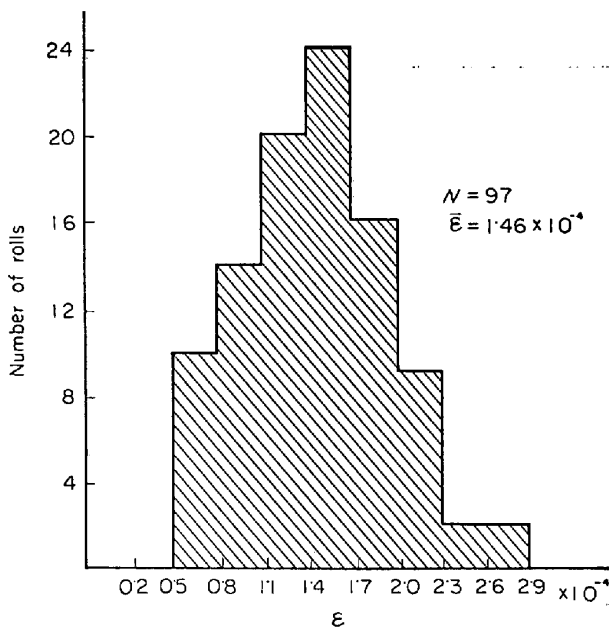


Fig. 5. Relative strain between sleeve and Arbour.

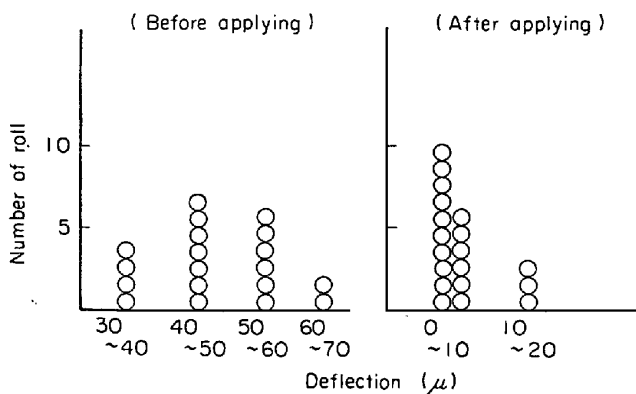


Fig. 6. Difference of bending deflection before and after applying fluid pressure.

体圧を加えていつたんスリーブをアーバから浮上させ、スリーブを軸方向に自由な状態にしてから収縮させ、軸方向残留応力を完全に除去するという新しい方式(特許

出願中)を考案した。焼ばめ面に流体圧を加える方法としてはFig. 4に示すような方法がある。以下にその具体例を述べよう。

Photo. 1は加圧作業中の実体ロールを示す。ロールには焼ばめ面両端に加圧用リングが設けてあつて、焼ばめ面には数条のみぞが加工されている。加圧作業では、まず片側のリングから水を供給し、リングやみぞの空隙を満水にしてから密閉し、加圧する。加圧力は 500 kg/cm^2 である。両端の加圧用リングのロール軸直角断面積は異なつてゐるので、スリーブが加圧中に軸方向に移動し、完全に浮上したことが確認されるように設計されている。通常のスリーブ浮上圧力は約 400 kg/cm^2 である。

加圧によつて除去される軸方向残留ひずみは、加圧前後のスリーブ軸方向収縮から認められており、スリーブとアーバとの和として、平均ひずみで $0.5 \sim 10 \cdot 10^{-4} \sim 2.8 \times 10^{-4}$ である。図示するとFig. 5のようになる。

このようにして製作されたロールは、Fig. 3からもわかるとおり、もはや曲がりの問題はほとんどなくなつた。さらに、 $\tau_p > \tau_f$ になる可能性のあるミルでは、 τ_f を高めるような加工を併用している。

以上のような対策をとつたロールの効果を以下に列記する。

(1) 本方式によつて製作されたロールはすでに97本(冷延用38本、熱延用59本)あるが、いずれのロールもこれまで曲がりの問題がまったく起こつていない。

(2) 流体圧をかけることによつて焼ばめ作業には注意をばらう必要がなく、焼ばめ後の曲がりが大きくなつていてもかまわない。

最近のデータでは流体圧をかける前と後とで曲がり(振れ)はFig. 6のとおり変化している。

(3) 本方式の補足的効果として、流体圧を加えられるように加工されたロールが万一曲がつたとしても圧延工場において流体圧をかけることによつて容易に曲がりを修正することができる。

4.4 その他の曲がり防止対策

その他の曲がり防止対策としては、接着剤やネジリングを用いてスリーブを固着させる方法や、機械的応力を前もつて加えて焼ばめによる残留応力を除く方法などがあるが、それぞれ単独の対策としては未解決の問題が残されており、たとえば比較的負荷の小さなミルなど用途が限定されるように考えられる。

5. む す び

四重式圧延機に使用される補強ロールは板厚管理の点

から曲がりの発生が大きな問題である。このため強じん性や耐スポーリング性にすぐれ、ロール原単位において極めて有利であるにもかかわらず、組立式補強ロールは敬遠され一体ロールが採用されることがあつた。

これに対して長年にわたるモデルロールおよび実体ロールについての研究結果、新しい曲がり防止対策として焼ばめ面に流体圧を加える考案がなされた。この考案によるロールはすでに多くの使用実績をもち、曲がりの問題がまったく起こらないことが確認された。したがって組立式であるがために本質的に曲がりやすいという従来の考え方は是正される必要があると考えられる。今後さらに補強ロールの品質向上に努め、ロール原単位の低減

に寄与したいと考える。

文 献

- 1) 堀, ほか 3 名: 機械学会論文集, 32 (1966), 233 p. 1
- 2) 堀, ほか 3 名: 機械学会論文集, 32 (1966), 235 p. 432
- 3) " " 32 (1966), 235 p. 440
- 4) " " 32 (1966), 237 p. 689
- 5) " " 33 (1967), 245 p. 11
- 6) 堀, ほか 2 名: 塑性と加工, 5 (1964), 43, p. 536
- 7) 永島 6 (1951), 10, p. 4