

## 討26 熱間圧延用補強ロールのスポーリングに関する検討

日本鑄鍛鋼(株) 技術開発部 ○大小森義洋 北川幾次郎  
 技術部 篠塚 啓吾 宮本 立三  
 矢崎 誠一 井上 睦彦

### 1. 緒言

鉄鋼各社においては、圧延設備の近代化とあわせてコストミニマム操業生産に対し、非常な努力がなされつつある。特に、熱間圧延においてはスケジュールフリー圧延の比率増加、6Hiミル、異径・異周速圧延、クロスミルの導入などが行われており、ロールの受ける負荷は益々苛酷になりつつある。本報では、熱間圧延用補強ロール（以下熱延用BURという。）に焦点を絞り、なかでもロール原単位（kg/Ton）を大きく左右する耐スポーリング性について、実機ロールのデータと、それに基づいて、ロール材質向上を目的として実施した実験の両面から検討を行った結果について述べる。

### 2. スポーリングの発生原因と材質特性の関係

本来、スポーリング現象はBURと作動ロール（以下WRという）とのころがり接触による疲れ<sup>1)</sup>であるが、実機熱延用BURではスポーリングを、その現象から大きく以下の2つに分類することができる。

- 1) ころがり疲れ（偏摩耗による接触応力の増大）によるもの。
- 2) 圧延事故を含めた通板時の熱衝撃によるクラックの進展によるもの。

#### 2.1 ころがり疲れによるスポーリング

熱延用BURのころがり疲れによるスポーリングの大半は、エンドスポーリング現象として発生している。

このエンドスポーリングについて実機BURのデータをもとに考察してみる。1例としてA熱延工場の仕上ミル前段、後段のそれぞれの代表として、F2 Std. 下側BURの摩耗プロフィールをFig.1に、F6 Std. 下側BURの摩耗プロフィールをFig.2に示す。Photo.1に見られるようなエンドスポーリングを起したBURは、Fig.2のようなプロフィールを呈したものに多く発生している。この現象は、上下ロールで見た場合、下ロールの方が多いためである。また、エンドスポーリングは、前段に比べて後段での発生比率が高いが、この原因をF2とF6 Std.のBURを例にとって述べると、計算上ではF6 Std.の平均の接触応力は、F2 Std.の約2/3と低いが、この摩耗プロフィールが原因で胴端部の接触応力が逆に高くなり、さらに1回組込時のF6 Std.における転動数はF2 Std.におけるその約4倍で、それだけF6 Std.の疲労度が高くなったために、スポーリングの発生比率が高くなったものと考えられる。このBURの摩耗現象は、使用期間、WRの材質、かたさ、表面性状、さらにBURの材質、かたさ、圧延、潤滑条件などの諸要因が複雑に絡んで発生したものと考えられる。この偏摩耗によるBURのスポーリングを防止するには、ロール性能面と使用メンテナンスの両面からの対応が必要である。まずBUR材は、

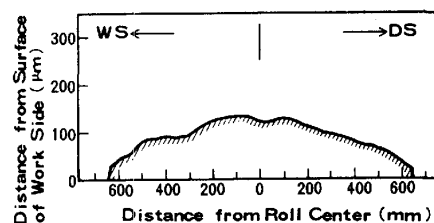


Fig. 1 Profile of Backup Roll in Hot Strip Mill (After Rolling F2 Std./Low)

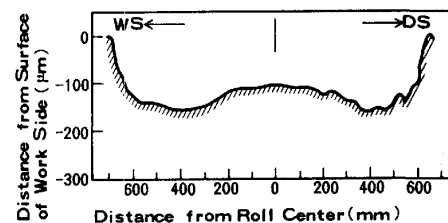


Fig. 2 Profile of Backup Roll in Hot Strip Mill (After Rolling F6 Std./Low)



Photo. 1 Spalling of Backup Roll in Hot Strip Mill.

摩耗，ころがり疲れに対して高い性能を付与していなければならないが材質を左右する因子として，化学組成，組織およびかたさなどが挙げられる。1例として Fig. 3<sup>2)</sup> に，C量を 0.33~0.98%の範囲で変え，摩耗量との関係を調べたデータを示すが，C量の高い程，摩耗量は少なくなっている。摩耗に及ぼすCr量の影響については，Cr量を 2.0~7.0%の範囲で変え，組織をパーナイト+マルテンサイト，かたさを Hs 60として，西原式摩耗試験機により実験を行ったデータを Fig. 4 に示す。この結果から，Cr量の高い程，摩耗量が少なくなっていることがわかる。次に，かたさについては，B熱延工場のロールの摩耗量をかたさとの関係で整理して，Fig. 5に示す。摩耗量は，Hs 50のロールの摩耗径を，100とした場合の比をもって示した。調査期間が比較的長期間にわたっているため，この間の操業条件の変化はあるが，かたさと摩耗量との間には明瞭な相関関係が認められる。

ころがり疲れについては，Fig. 6<sup>3)</sup> に，C量を 0.33~0.98%の範囲で変え，スポーリング寿命との関係を調べたデータを示すが，C量の高い程，スポーリング寿命は長いが，0.65% C以上では飽和傾向とともに寿命のバラツキが大きくなっている。Fig. 7は，スポーリング寿命とかたさとの関係を調べた実験データである。試験材は，組織をマルテンサイト+パーナイトとし，かたさは焼もどしによって Hs 65, 70の2水準としてころがり疲れ試験に供した。この結果から，試験材のかたさだけでなく，相手材のかたさまでが，スポーリング寿命に関係しており，BURはかたく，相手WRのかたさの低い方が，BURのスポーリング寿命が長くなることがわかる。以上のことから，摩耗，ころがり疲れに対してはC, Crなどの合金添加量を多くし，かつこれらの最適組合せのもとで実機の使用条件に適合した高硬度にすることが望ましい。さらに，ロールのメンテナンスの面からのスポーリングの防止がロール材同様大きなウェイトを持っている。操業中にスポーリング事故が生じないように，組替後BURは，表層に蓄積した疲労層を除去するため改削される。この改削による疲労度の管理は，ロール原単位の面から重要である。疲労層（疲労度）を，X線による半価幅の測定結果より求める方法<sup>4)</sup>，計算によるロールの径方向，および軸方向の疲労損傷分布から疲労度を管理する方法，さらに，これをベースとして実機の経験則により各ミルに応じた管理基準が使われている。この中で計算例について紹介する。

計算の仮定は，以下の通りである。

- 1) ロールの疲労を支配する力学因子は， $\tau_{xy45} = 1/2(\sigma_y - \sigma_x)$  であるとする。
- 2) ロールのスポーリング寿命については，Miner 則が成立するものとする。
- 3) 1回組込時の転動数，および組替後の改削量は毎回一定とする。

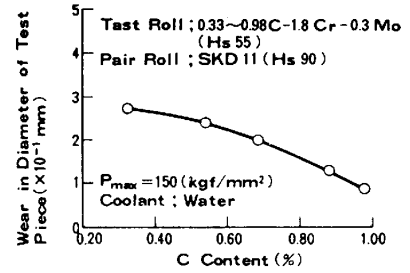


Fig. 3 Relation between C Content and Wear in Diameter<sup>2)</sup>.

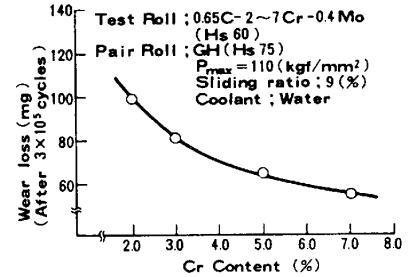


Fig. 4 Relation between Cr Content and Wear loss.

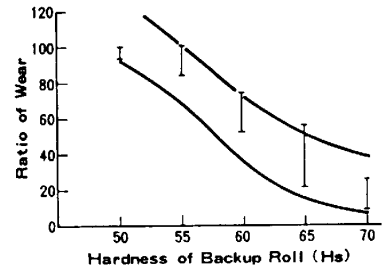


Fig. 5 Relation between Hardness of Backup Roll in Hot Strip Mill and Ratio of Wear.

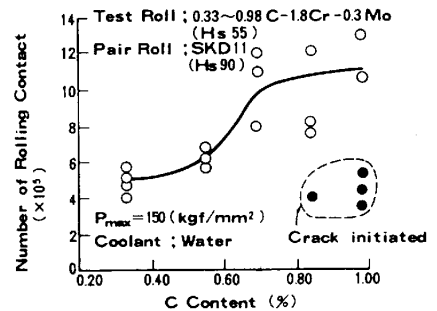


Fig. 6 Relation between C Content and Number of Rolling Contact to Failures<sup>3)</sup>

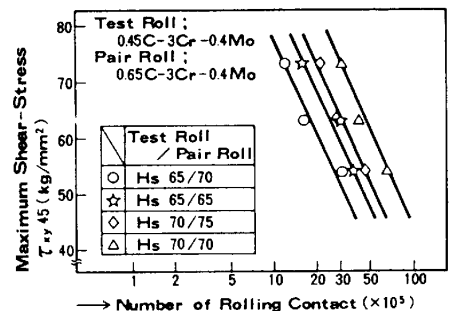


Fig. 7 Relation between Hardness Combination and Number of Rolling Contact to Failures.

Fig. 8に、C熱延工場でのBURの実績改削量と、計算により求めた疲労度(F)=0.75の改削量との関係を示す。

2.2 圧延事故を含めた通板時の熱衝撃によるクラックを起点とするスポーリング

ロールの受ける負荷が益々苛酷になるにつれ、絞り込み、あるいはスリップ等の圧延事故の際にBURの表面が摩擦熱により急熱され、冷却水によって急冷されることによって生じたクラックを起点とするスポーリングが問題となってきている。このクラックは、高温までの熱膨張を拘束したために生じた塑性ひずみが、冷却の際に大きな引張力に変換されたために発生すると報告されている<sup>5)</sup>。Photo. 2に、D熱延工場でBUR胴端に発生したスリップ痕の例を示す。スリップ痕域のかたさは、Hs83に達しており、正常部のHs66に比べ異常に高くなっており、かつ組織はマルテンサイトになっていた。BURの熱衝撃被害部は、到達温度により組織、かたさなどが影響を受ける。表面は変態点以上に急熱後急冷されたためにマルテンサイト組織となって硬化し、その直下および付近は焼もどしを受け軟化している。Photo. 3に、E熱延工場でBURの胴端に発生したクラックの例を示す。このクラックは、ロール研削中に発見されたものであるが、クラックの方向はロールの軸方向と平行であり、熱衝撃によるクラックの特徴を示している。このクラックによるスポーリングを防止するには、改削時完全に検出し、除去するメンテナンスが必要である。

熱衝撃によるクラックの実験室的シミュレーションには、種々の方法があり、ロール材では主に冷間圧延用WRを対象として実験がなされている。熱衝撃によりクラックスが発生したとしても、その深さが浅いロール特性がロールメーカーに要求されており、ここでは、耐熱衝撃性評価を目的として、Fig. 9に示す試験機で、熱延用BURを対象として実験を行った事例を紹介する。

Fig.10に、焼入れ温度とクラック深さとの関係を示す。試験材は、900~1020℃の各オーステナイト化温度から焼入れを行い、組織をマルテンサイトとし、かたさは焼もどしによってHs 68にそろえて熱衝撃試験に供した。はっきりとした関係は見られないが、焼入れ温度の高い方が、若干深さが小さいようである。

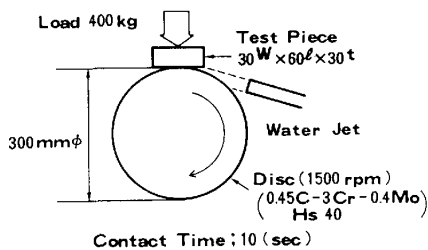


Fig. 9 Heat Shock Testing Apparatus.

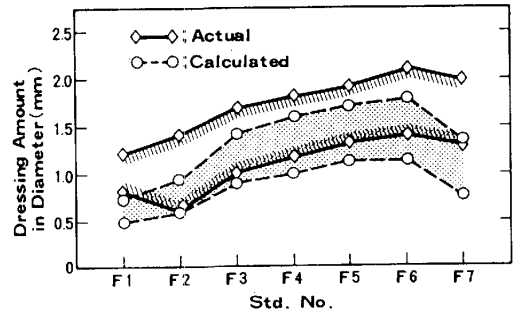


Fig. 8 Relation between Actual and Calculated Dressing Amount of Backup Roll in Hot Strip Mill.

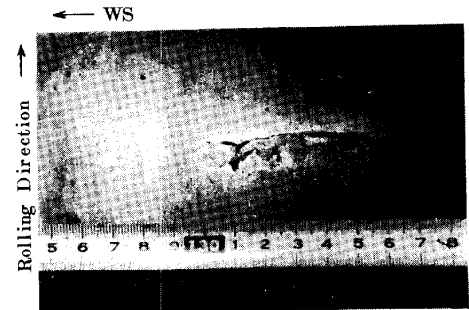


Photo. 2 Slip marks of Backup Roll in Hot Strip Mill.

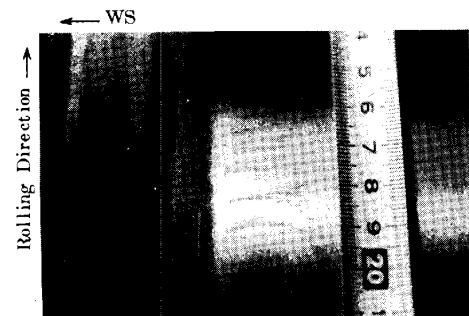


Photo. 3 Crack of Backup Roll in Hot Strip Mill.

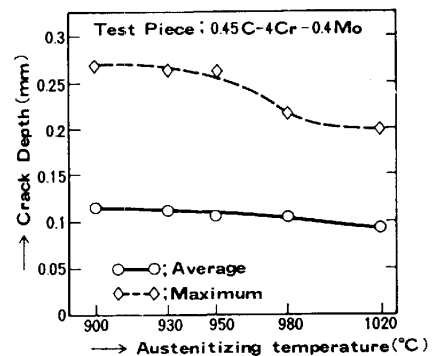


Fig. 10 Relation between Austenizing Temperature and Crack Depth.

### 3. 破壊靱性値(K<sub>IC</sub>)とスポーリング寿命

近年、耐スポーリング性評価の一つのパラメータとして破壊靱性値(K<sub>IC</sub>)がロール材に適用されているが<sup>6)</sup>、ここでは焼入れ温度と破壊靱性値、およびスポーリング寿命との関係を調べた。供試材は、900~1020℃の各オーステナイト化温度から焼入れ、組織をマルテンサイト+ベーナイトとし、かたさを焼もどしによりHs65にそろえた。Fig.11に、焼入れ温度と破壊靱性値との関係を、Fig.12に、焼入れ温度とスポーリング寿命との関係を示す。焼入れ温度の高い方がK<sub>IC</sub>値が高く、また、スポーリング寿命も長くなっている。この現象は、焼入れ温度を上げることによってMatrixを強靱化したことが効いたものと考えられる。これらの図より、破壊靱性値(K<sub>IC</sub>)とスポーリング寿命との間には、相関があることが推測される。

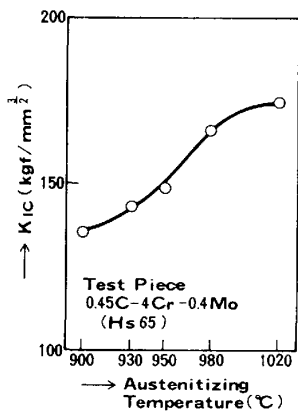


Fig.11 Relation between Austenitizing Temperature and K<sub>IC</sub>.

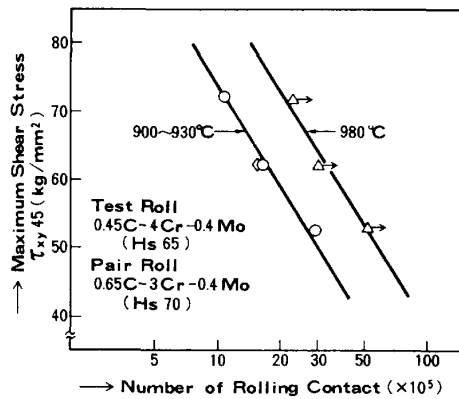


Fig.12 Relation between Austenitizing Temperature and Number of Rolling Contact to Failures.

### 4. 結 言

熱延用BURに焦点を絞り、なかでもロール原単位(kg/Ton)を大きく左右する耐スポーリング性について、実機ロールのデータと、それに基いたラボ実験の両面から検討を行った。実機ロールにみられるスポーリングの原因は主に、偏摩耗によりロール胴端部の接触応力が増大し、疲労により発生するものと、圧延事故を含めた通板時の熱衝撃によるクラックを起点として発生するものに大別することができる。前者には、摩耗、ころがり疲れ特性に優れた材質選定、例えばC、Crなどの合金添加量の増量とその組合せを考慮した高硬度化が望ましいが、WRとの組合せ、圧延条件などを考慮する必要があり、メンテナンスによるスポーリング防止の面からもユーザーの御協力をお願いしたい。後者については、クラックが発生したとしてもその深さの浅い材質の選択と、これの除去を目的としたメンテナンスが必要である。また、近年ロール材に適用されている破壊靱性値(K<sub>IC</sub>)とスポーリング寿命との間には、相関があることが推測される。

### 参考文献

- 1) 赤堀；塑性と加工 6 (1965) 63 p.329
- 2) 荒金ほか；鉄鋼基礎共同研究会「鉄鋼材料の摩耗」 p.121
- 3) 竹内ほか；三菱製鋼技報 4 (1970) 1 p.27
- 4) 武智ほか；鉄と鋼 65 (1979) 14 p.85
- 5) 佐藤ほか；塑性と加工 1 (1969) 101 p.405
- 6) 斉藤ほか；鉄と鋼 65 (1979) S1049