

ハイスロールの熱延仕上ミル後段スタンドへの適用

土橋智也・佐藤準治・白石敏一・川嶋輝子・平田 清

加古川製鉄所・薄板部

Application of High-speed Steel Rolls to Downstream Stands in Hot Finishing Mill

Tomoya Tsuchihashi・Junji Sato・Toshikazu Shiraiishi・Teruko Kawashima・Kiyoshi Hirata

Compared with conventional hot finishing work rolls, high-speed steel rolls have excellent wear resistance but a larger thermal expansive crown, which influences the rolling shape of strips and makes it difficult to use them at downstream stands. Grinding rolls into a one-side crown shape greatly improved this difficulty, and the application rate of high-speed steel rolls has risen greatly at downstream stands in the Kakogawa hot finishing mill. As a result, work roll consumption per rolled product at downstream stands (No. 4 to No. 7) has been reduced by half.

まえがき = 熱間仕上圧延用 WR (Work Roll) としては、前段スタンド (F1 ~ F3 スタンド) ではハイクロムロール、後段スタンド (F4 ~ F7 スタンド) ではニッケルグレンロールが一般に使用されてきた¹⁾²⁾。近年開発されたハイスロールは、従来ロールにくらべて耐摩耗性および耐肌荒性に優れ、ロール原単位の低減、WR 組替・研削回数の低減、鋼板の幅戻制約緩和による圧延スケジュールの改善などコストおよび生産性の面で画期的な効果が期待されるため、仕上圧延用 WR として鉄鋼各社で適用が進められている^{3)~5)}。

すでに、前段スタンド用 WR はほぼ全面的にハイスロールに切替えられているが、後段スタンドへの適用は遅れていた²⁾。ハイスロールは従来ロールにくらべて磨耗が小さく、かつロール胴長中央部と端部との熱膨張量差 (サーマルクラウン) が大きいので、鋼板が後段スタンドを通過する際の通板形状が安定せず、事故発生率が高いためである。

加古川製鉄所熱延工場では、ハイスロールの片クラウン形状化を主とする対策を講じて、後段スタンドでの適用をいちじるしく拡大することに成功した。本稿ではこれまで実施してきた対策について報告する。

1. 仕上圧延ミルセッティングのハイスロール対応

1.1 ハイスロール用摩耗・サーマルクラウン予測モデル

第 1 図に、ほぼ同じ圧延条件でのハイスロールおよびニッケルグレンロールの磨耗およびサーマルクラウンプロファイルの比較を示す。胴長方向各位置の熱膨張量は WR 中心から 1000mm 離れた位置を基準とし、上下 WR ギャップの左右平均で表した。ハイスロールの磨耗量はニッケルグレンロールの 1/3 ~ 1/6、サーマルクラウンは 1.5 ~ 2 倍である。サーマルクラウンが大きいという特性は、主に WR 材質の平均線膨張係数が従来ロールより大きいことによる³⁾⁴⁾。

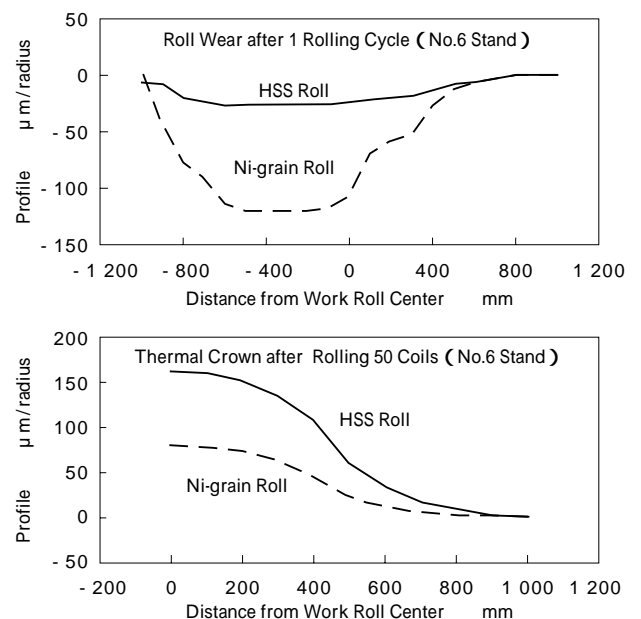
ハイスロール使用時に従来ロール用モデルをもちいて WR プロファイルを計算すると、実プロファイルに対する予測誤差が大きくなり、WR ベンディング力設定などの板クラウン・形状制御に悪影響が及ぶ。また、ハイスロー

ルは圧延終了後研削されずに複数回使用されるので、WR 磨耗予測量は次回の圧延サイクルにも使用するか否かの判断基準としても重要なデータである。以上の理由から、予測モデルの構成は従来ロール用⁶⁾のままとするが、ハイスロールの実測結果をもとに熱伝達係数などを合せ込み、WR 種類ごとにこの係数を選択することとした。

ハイスロールはいったん使用後、数時間冷却してから再使用されることがある。この場合、各 WR 番号および圧延終了時の磨耗・熱関係諸量の計算値をプロセスコンピュータ内に保存しておき、研削されずに組込まれた際にそのデータを初期条件として計算を再開する。ただし、圧延終了後 24 時間以上経過した場合、前回使用時の熱履歴の影響は無視できるので、磨耗データだけを初期条件としてもちいる。

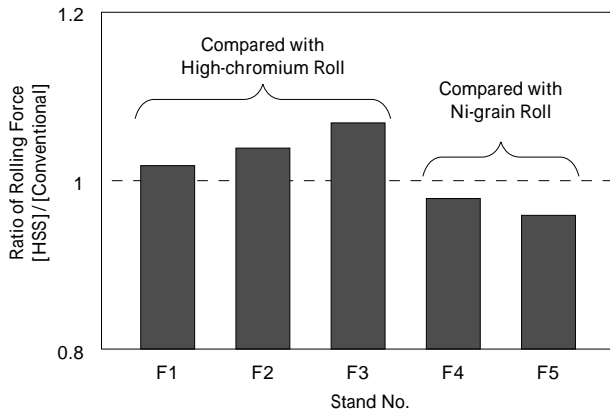
1.2 圧延荷重予測モデルの修正

第 2 図にハイスロールと従来ロールとの圧延荷重の比較を示す。前段スタンドではハイクロムロール使用時

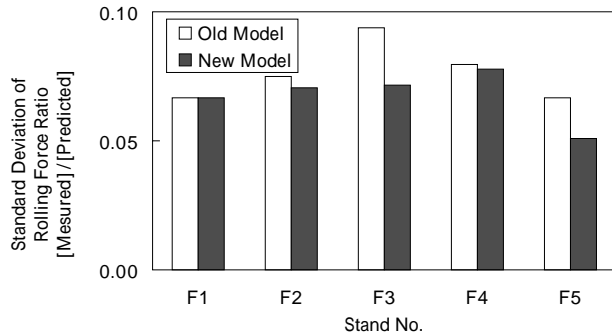


第 1 図 ハイスロールとニッケルグレンロールの WR プロファイルの比較

Fig.1 Profile comparison of HSS roll and Ni-grain roll



第2図 ハイスロールと従来ロールの圧延荷重の比較
Fig. 2 Rolling force comparison of HSS roll and conventional roll



第3図 圧延荷重予測精度の改善
Fig. 3 Improvement of rolling force prediction

にくらべて圧延荷重が高く、後段スタンドではニッケルグレンロール使用時と同レベルである。圧延荷重の増加はハイスロール表面の突起状炭化物が原因と推定されている^{2)A)7)}が、後段スタンドで増加しない理由は明らかではない。

圧延荷重の予測誤差は、製品板厚精度だけでなく、WRベンディング力設定・速度設定などへの外乱となり、後段スタンドの通板性にも影響する。WR表面材質のヤング率差異による接触弧長減少を考慮するとともに、実機での圧延荷重実測値に基づき、ハイスロール用に磨擦係数モデル⁸⁾を修正した。この修正によって、圧延荷重予測精度は第3図のように改善された。

2. サーマルクラウン低減

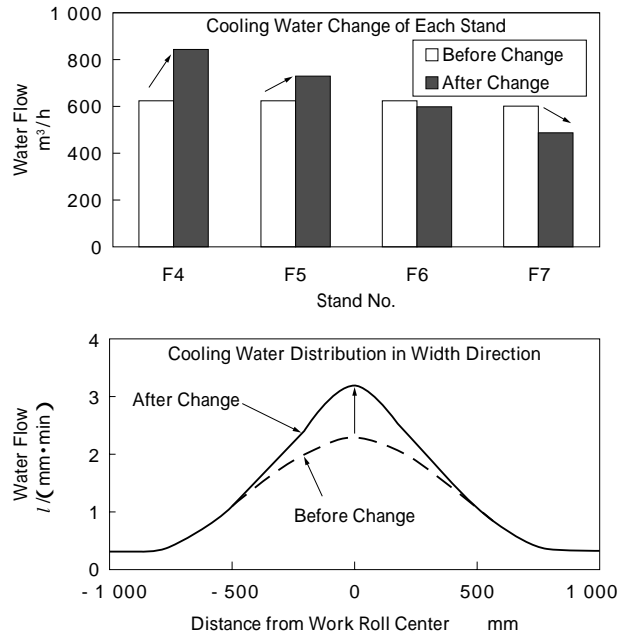
サーマルクラウンが大きいと安定通板の妨げとなり、鋼板にエッジアッププロファイルが生じやすくなるので、後段スタンドへのハイスロール適用は遅れていた。WRイニシャルクラウンをマイナス側（凹形状）に変更するとともに、以下の対策を実施した。

2.1 WR冷却水のスタンド配分および分布の変更

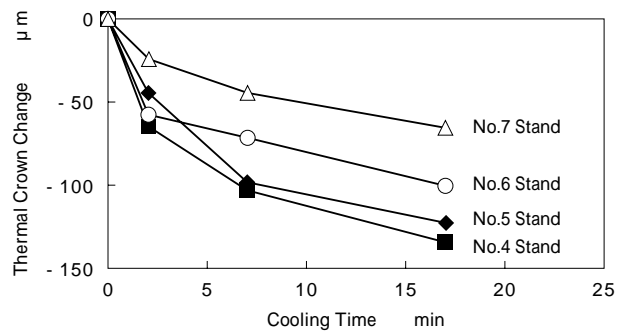
WRイニシャルクラウン変更後も、広幅鋼板圧延時に、WRイニシャルクラウンの凹形状とサーマルクラウンの凸形状との重ね合せのために、中伸・耳波複合形状が発生するなど、通板形状が安定しない場合があった。そこで、WR冷却水のスタンド配分および胴長方向分布を変更した。

2.1.1 WR冷却水量分布の変更方法

F4 F5 スタンドでのハイスロール適用拡大を目的とし



第4図 WR冷却水量配分の変更
Fig. 4 Change of WR cooling water distribution



第5図 WR冷却水量配分変更の効果
Fig. 5 Effect of WR cooling water distribution change

て、第4図に示すようにF7スタンドの水量を減らし、この分を上流側スタンドに傾斜配分するとともに、胴長方向でもセンター部の水量を増量した。

2.1.2 WR冷却水量分布変更の効果

1 サイクル圧延後、WR冷却水を止めずにWRを組込んだままにしておき、サーマルクラウンの変化を測定した。第5図に示すように水量を増やしたF4、F5スタンドのサーマルクラウン減少量は他スタンドにくらべて大きく、水量分布変更の効果を確認できた。

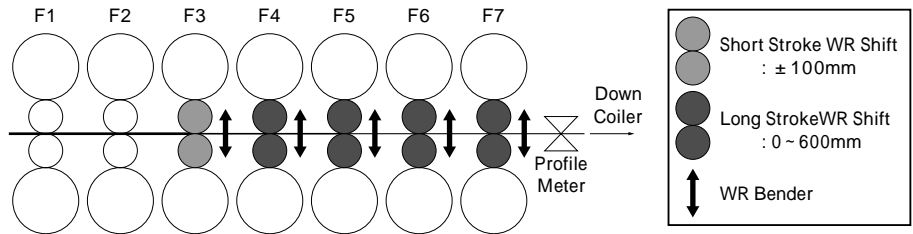
3. 片クラウン形状の採用

さらにサーマルクラウンの平滑化および低減を図るために、WRシフトミル特有の板クラウン制御特性を考慮して制約を設けていた後段スタンドのWRシフト方法に着目した。WRシフトミルの板クラウン制御特性を改善するために片クラウン形状を考案し、これによってWRシフト方法に設けていた制約の緩和が可能となった。以下、この片クラウン形状について説明する。

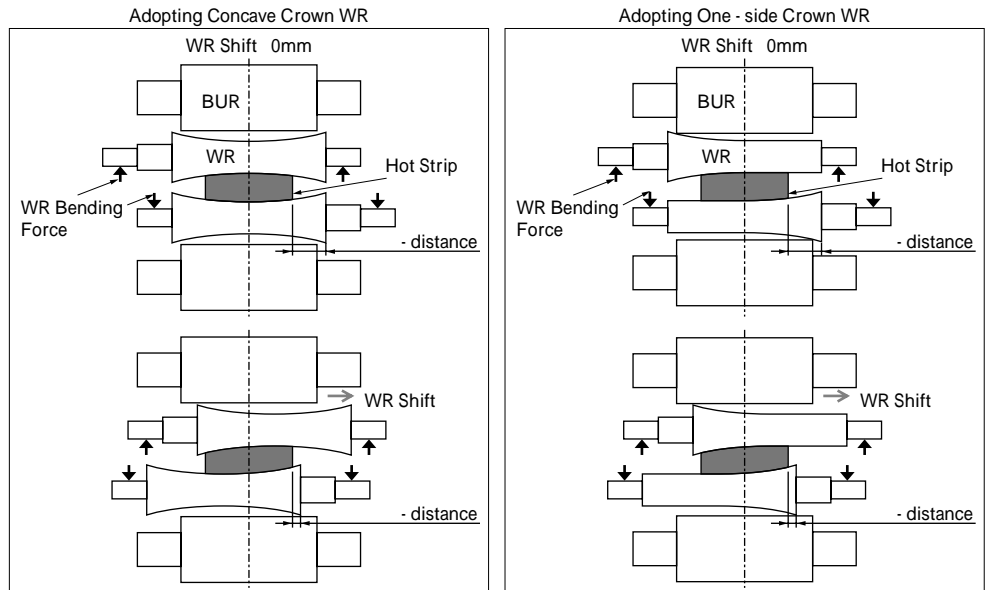
3.1 WRシフトミルの特徴

第6図に加古川製鉄所熱延工場仕上ミルの板クラウン制御設備の概要を示す。片クラウン形状適用対象であるF4~F7スタンドは、WRをミル中心に対して片側方

第6図 加古川製鉄所熱延仕上ミルのクラウン制御設備
Fig. 6 Crown control equipment of Kakogawa hot finishing mill



第7図 WRシフトミルのロール配置
Fig. 7 Roll layout of WR shift mill



向のみに移動させるロングストロークのWRシフトミルである⁶⁾。

WRシフトミルでは、第7図に示すようにWRをロール軸方向に移動させることによって、『板クラウンの制御』と『ロールプロフィルの平滑化』という二つの機能を活用できる⁶⁾。

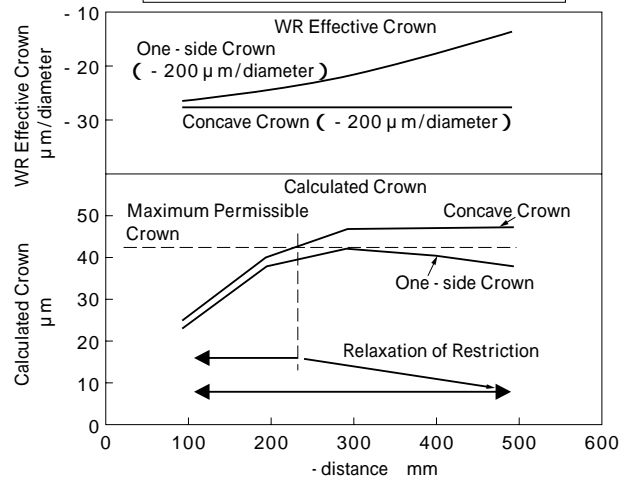
第8図に、WRシフトミル単スタンドの板クラウン制御特性（距離とそのシフト位置での制御可能な最小板クラウンの関係）を示す。WRをシフトさせた際にミル中心に近づく側のWR胴端と鋼板幅端との距離を距離と定義する。板クラウンの計算には分割モデル¹⁰⁾をもちい、鋼板とWR間の圧力分布は幅方向均一とした。WRシフト量が大きい（距離が小さい）ほど、ベンディング装置によるWR弾性曲げ変形に対するバックアップロールの拘束が小さくなるため、板クラウン制御能力が大きくなる。

従来は、低クラウン指令材および板クラウン低減が困難な高強度材（以下、これらの材料を距離制約材と呼ぶ）では、板クラウンを許容公差内に確保するため、前もって定めた距離の制約値以下となるようにWRシフト位置を設定していた。鋼板間でのWR移動量が大きすぎるとレベリング不良による絞りが増加するので、距離制約材が多いと、その前後で圧延される鋼板についてもWRシフト位置が制約される。その結果、WRの鋼板に接触する範囲が偏り、サーマルクラウンを分散させることができず、通板トラブルにつながっていた。

3.2 片クラウン形状ロールの開発

『板クラウン制御』と『ロールプロフィル平滑化』とを両立するには、距離が大きい場合の板クラウン制御

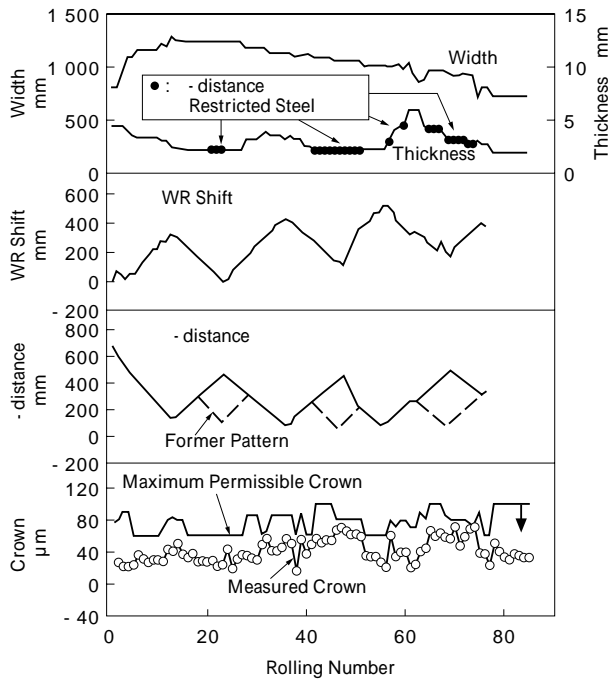
Calculation Condition
Width : 1 200mm, Thickness : 5 3.5mm
Unit Load : 14.7kN/mm
WR Bending Force : 1 960kN/chock
Concave Crown : - 200 μm/diameter
One-side Crown : - 200 μm/diameter
Crown Estimated Position : 25mm from Edge



第8図 WR実効クラウンと計算板クラウン
Fig. 8 WR effective crown and calculated crown

能力を改善することが必要となる。そのために、WRシフトによってミル中心から離れる側のWRインシャルクラウンをフラット形状とした第7図に示す片クラウン形状ロールを考案した。第8図中に、凹形状ロール・片クラウン形状ロールそれぞれの場合の距離とWR実効クラウンの関係と、板クラウン制御特性を示す。ここで、WR実効クラウンとは鋼板がWRに当接する範囲でのWRクラウンを意味し、板幅中心位置と板両端部のWR径差の平均である。

WRをシフトしない状態（距離大）では、鋼板に凹ク



第9図 片クラウン形状ハイスロール使用の圧延サイクル例
Fig. 9 Example of rolling cycle in which one-side-crown HSS rolls were used

ラウンが当接する範囲が少ないため全長に凹クラウンを付与したWRにくらべて実効クラウンが大きく、板クラウンを小さくすることができる。いっぽうWRをシフトして距離が小さくなるほど凹クラウンが当接する範囲が増大するため、通常の凹クラウンロールとの差が小さくなる。このように、距離が大きい領域でも制御可能最小板クラウンを板クラウン許容公差以下とすることが可能であり、板クラウン確保のために設けていた距離制約を緩和できる。

3.3 片クラウン形状ハイスロールの使用例

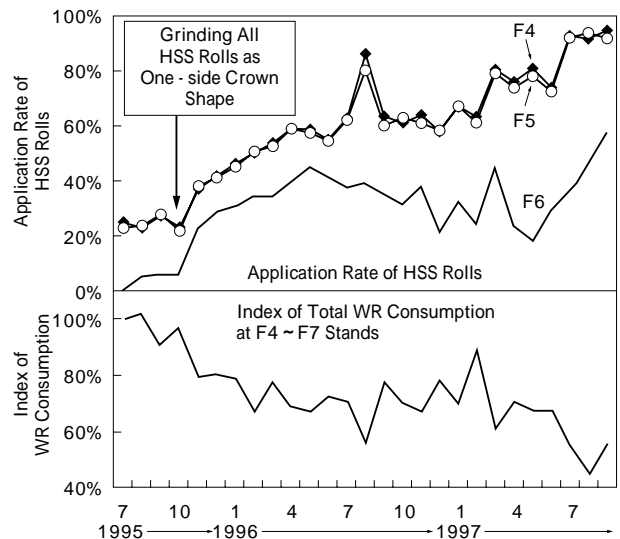
第9図は、F4～F6スタンドに片クラウン形状のハイスロールを使用した圧延サイクルの例を示す。高強度材・低クラウン指令材という従来の距離制約材が多数含まれているが、WRシフト位置を設備制約上可能な限り広範囲に設定できている。鋼板の板クラウンも板クラウン許容公差をこえるものではなく、『板クラウンの確保』と『WRサーマルクラウンの平滑化』の両立が図られていることがわかる。

3.4 片クラウン形状ハイスロールの実機適用

1995年5月より実機テストを開始し、1995年10月にF4～F6スタンド用ハイスロールについて、従来の凹形状から片クラウン形状への全面的な切換えをおこなった。

4. 後段スタンドのハイスロール適用率

第10図に、F4～F6スタンドのハイスロール適用率および後段スタンドWR原単位の推移を示す。片クラウン



第10図 スタンド別のハイスロール適用率と後段スタンドWR原単位指数の推移
Fig. 10 Application rate of HSS rolls at each stand and index of total WR consumption per rolled product at F4～F7 stands

形状化によって通板形状が安定したために、後段スタンドでのハイスロール適用率は大幅に向上した。とくにF4、F5スタンドの適用率は90%を越え、前段スタンドと同レベルとなった。

その結果、後段スタンドのWR原単位はハイスロール片クラウン形状化前の約50%まで低減され、WR組替・研削作業の大幅な効率向上にも大きく貢献している。

むすび=片クラウン形状化を主とする鋼板通板形状改善対策によって、後段スタンド(F4～F6スタンド)でのハイスロール適用率を向上してきた。今後は、これまでにまったくハイスロールを使用していない最終スタンド(F7スタンド)への適用と、ハイスロールの耐摩耗性を利用した圧延サイクルあたりの圧延本数の拡大を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 中島浩衛ほか：大同工業大学紀要，第31巻(1995)，p.37.
- 2) 縄田良作ほか：塑性と加工，Vol.36 No.417(1995-10)，p.1128.
- 3) 石川淳ほか：日新製鋼技報，No.73(1996)，p.55.
- 4) 橋本光男ほか：新日鉄技報，No.356(1995)，p.76.
- 5) 土橋智也ほか：材料とプロセス，Vol.9(1996)，p.968.
- 6) 山本喜孝ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.38，No.2(1988)，p.77.
- 7) 縄田良作ほか：圧延ロール研究会報告書(1995)，p.91，日本鉄鋼協会.
- 8) 佐藤準治ほか：R&D神戸製鋼技報，VOL.41 No.4(1991)，p.60.
- 9) 土橋智也ほか：材料とプロセス，Vol.9(1996)，p.338.
- 10) K.N. Shohet et al.: JISI，(1968)，p.1088.