

現場技術報告

熱延仕上ミルロールバンディングモニタ(RBM)の開発

Development of Roll Banding Monitor in the Hot Strip Mill

(株) 神戸製鋼所 加古川製鉄所

東洵・福田誠・寺井克浩・

吉武邦彦・石丸誠・岩井隆房*

1. 緒言

熱延仕上ミルにおいてワークロールの肌荒れに起因する噛み込みスケール疵は、表面品質上大きな問題であり、その改善が強く求められてきた。しかし、実操業では圧延中にロール表面の肌荒れ進行状況が把握できないため、通常は操業に一定の制約を設けて表面品質を確保している。

当社では、このような問題を解決するため、圧延中のロール表面をオンラインで観察する技術開発を進めてきた^{1)~3)}。その結果、圧延中のロール表面状態を直接カメラで撮像、観察する装置（ロールバンディングモニタ：以下、RBMと言う）の実用化に成功した。本装置の概要と実機熱延仕上ミルロールでの肌荒れ進行メカニズム及びオンラインでの肌荒れの定量化を試みた結果について報告する。

2. RBM装置の概要

Fig.1にRBMの構成図を示す。本装置は仕上ミルハウジング内に設置し、CCDカメラによりロール幅方向任意の位置で圧延中のロール表面の静止画像を撮像する。

操業中のミルハウジング内は、潤滑油などを含んだロール冷却水が飛散しており、ロール表面の明瞭な視野を安定して確保することが最大の課題である。そこで、冷却水による視界の遮りとレンズの汚れ対策として、清浄水の水柱を介してロール表面を撮像している。

回転中のロール表面の鮮明な静止画を撮像するには、ロールの高速回転、振動で画像がブレないことが要求される。そこで、光源にはロールの最大表面周速度などを考慮し、約15 μ s以下のきわめて短い露光時間が実現でき、かつ高輝度出力が可能なキセノンフラッシュ光源を採用している。また、ミルハウジングに取り付けたCCDカメラとロール間の距離変化で焦点がずれることによって画像がにじまないように、磁気変位センサーにより焦点距離を追従させるよう自動制御している。

観察視野は10mm×10mmとし、ロール表面の模様を明瞭に表示できるように、CRTに拡大表示している。

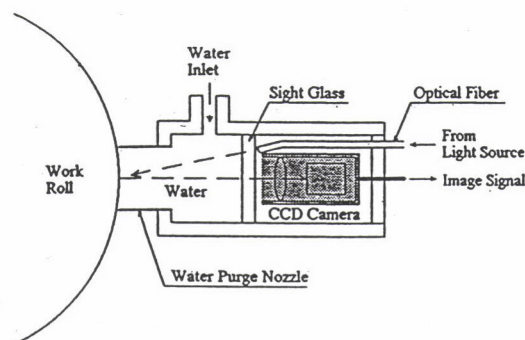


Fig.1. Inner structure of CCD camera box.

3. 肌荒れメカニズムの解明

3.1 撮像結果

Fig.2は、ハイスロールを用いて圧延した後のロール表面を通常のカメラで撮像したものであり、流星状肌荒れと呼ばれる黒皮剥離（写真中の白い筋状部）が生じている。Fig.3は、このロールを抜く直前にRBMで観察したロール肌であり、写真中央部圧延方向に黒皮が剥離して金属光沢部が現れている。これが目視観察時に見えた流星状の肌荒れである。写

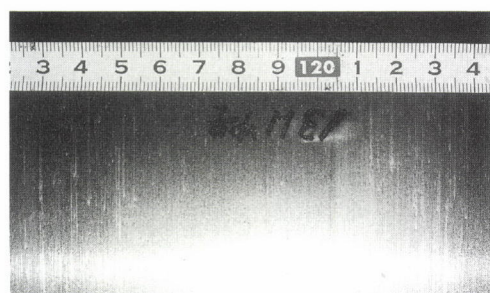


Fig.2. Surface condition of work roll pulled out from mill housing.

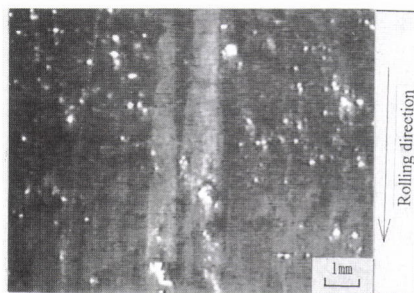


Fig.3. Observation of roll surface by roll banding monitor.

1995年12月4日受付 (Received on Dec.4,1995)

* Takafusa Iwai (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., Kanazawa-cho Kakogawa 675-01)

真下部に一際白く斑点状に見えるのがピット疵であり、これを起点にして黒皮がロール回転方向と反対方向に剥離しているのがわかる。このことから、ハイスロールの黒皮剥離は、ロール基地組織の粒界に析出する共晶炭化物が欠け落ちることによって生じるピット疵が起因していると考えられる。

以上のように、RBMによる観察結果は目視結果とよく一致している。さらに、ロールの表面性状を微視的に観察しているため、肉眼では観察しにくい小さな欠陥まで観察できる。

3.2 黒皮の生成と剥離

従来から肌荒れしやすい仕上ミルF2スタンド上ワークロールにハイスロールを使用した時の肌変化を調査した。

Fig.4に今回の調査中に圧延した鋼板の板厚と圧延荷重を示す。

Fig.5は、研削後のロール肌を圧延する直前に撮像したものである。筋状の模様はロール研削時に発生した研削目であり、写真中央部の黒く見える部分は、研削中に取りきれなかった残存ピット疵である。Fig.6は、圧延材がロールに噛み込まれた直後のロール肌であり、全面が一瞬にして黒くなり、黒皮に覆われたことを示している。Fig.7、8は、圧延長さ10km以上で板厚1.2mmの軟鋼を数本圧延した時のロール肌である。黒皮がほとんど剥離しロールの基地組織が現れている部分 (Fig.7) や、黒皮がまだらに剥離した部分 (Fig.8) が発生する。次に、肌回復のため低負荷材を圧延すると黒皮が再生して滑らかなロール肌となる (Fig.9)。以降、再び板厚1.2mmの軟鋼を圧延するとFig.7、8同様の肌が繰り返される。

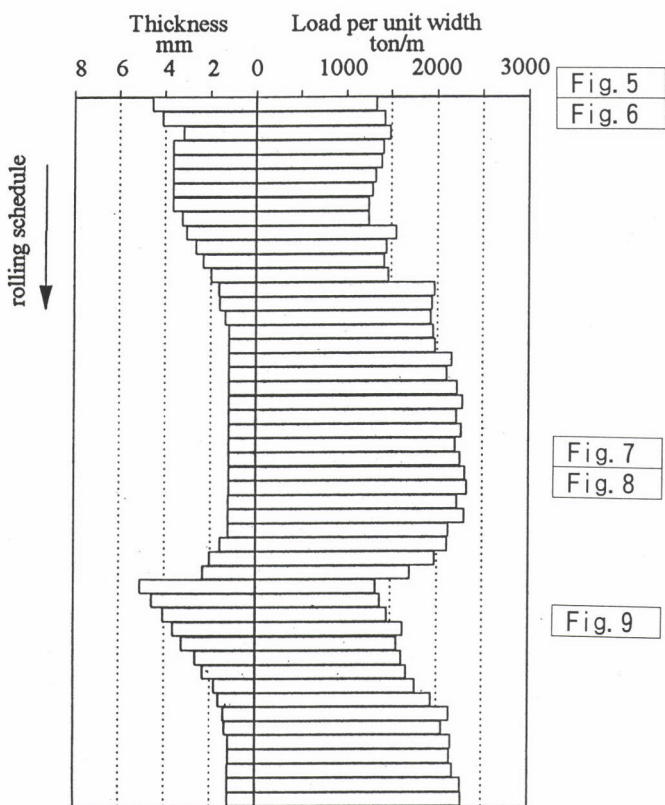


Fig.4. Thickness and load per width in rolling schedule.

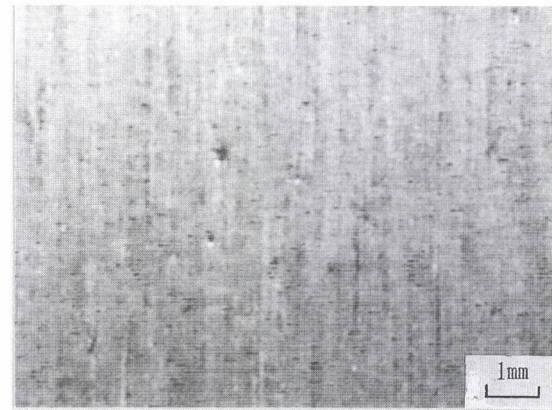


Fig.5. Ground roll surface before first rolling.

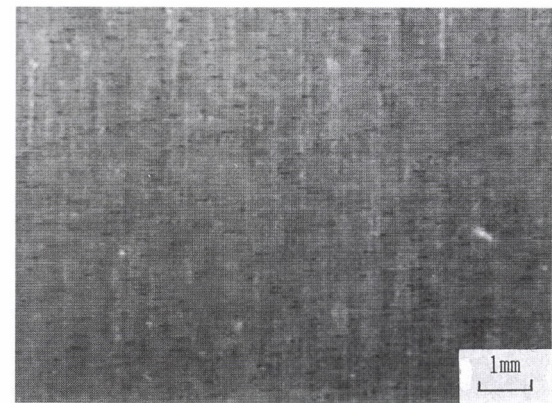


Fig.6. Roll surface just after first rolling.

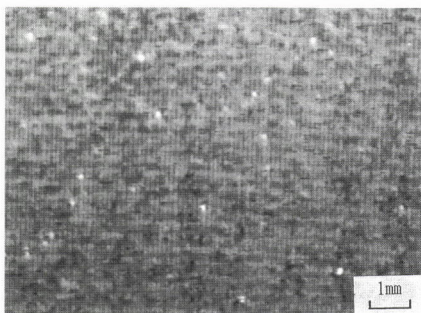


Fig.7. Roll surface of banding area.
(The scale is wholly peeled off)

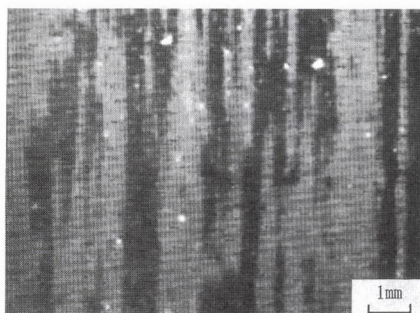


Fig.8. Roll surface of banding area.
(The scale is partially peeled off)

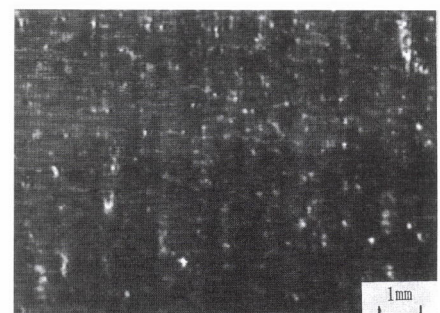


Fig.9. Scale reformation of roll surface after light load rolling.

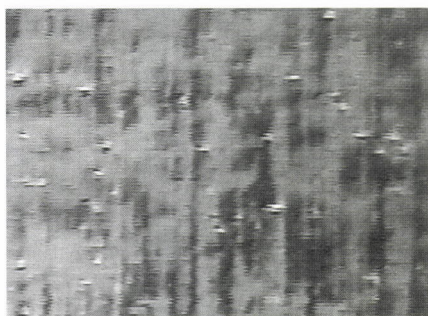


Fig.10. Roll surface of banding area.

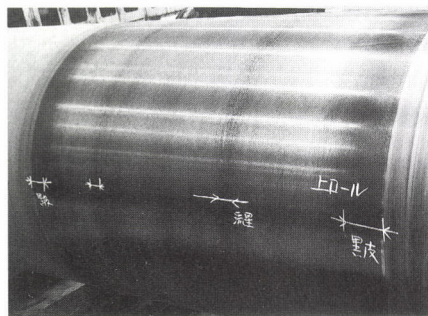


Fig.11. Surface condition of work roll pulled out from F2 stand mill.

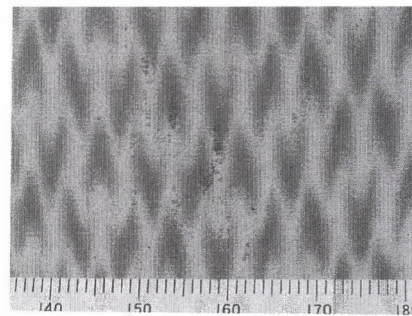


Fig.12. Scale defect on strip steel.

3.3 RBM撮像とロール肌および鋼板疵との対応

RBMによる圧延中のロール肌状況の変化は前述の通りであるが、実際のロール肌荒れ状態と鋼板に発生した噛み込みスケール疵との直接的な対応は不明である。そこで、RBM撮像とロール肌および鋼板疵との対応をつけるため、疵の発生しやすい熱延条件にて実機テストを行った。

実験材(板厚1.2mm)圧延中のRBM撮像、圧延後のロール肌外観および鋼板表面の疵発生状況をそれぞれFig.10、11、12に示す。Fig.10にはFig.8と同様、まだら状のスケール剥離が発生しており、これはロール幅方向の肌荒れ部と一致していた。さらに、鋼板表面にもロール幅方向の肌荒れ部と対応する位置にて噛み込みスケール疵が発生していた(Fig.12)。

この結果から、RBM撮像パターンと鋼板疵とはよく対応することが明らかとなり、今後、RBM撮像にてロール肌荒れ状況を観察、監視することにより、製品の噛み込みスケール疵の大量発生防止に寄与できることを確認した。

3.4 肌荒れ防止策

噛み込みスケール疵の発生原因となるロール肌荒れを防止するため、スタンド間冷却を利用し、鋼板表面温度を下げた時のロール表面状態を観察した。板温の低下によりロール表面状態は従来と異なり、Fig.13に示すように黒皮が薄く、細かなピット疵が散在するような肌で安定し、高負荷圧延を連続させてもまだら状の肌荒れ発生率は従来ほど増加しなかった。これに伴い、製品の噛み込みスケール疵も大幅に減少した。

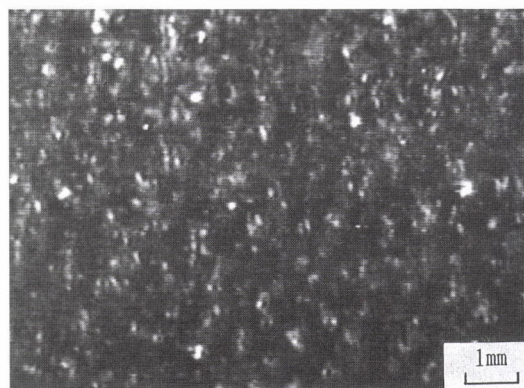


Fig.13. Scale reformation of roll surface after cooling down.

4. 画像処理システムの開発

当社では、バンディング状態の定量化とその特徴量の自動検知を行う目的で、RBMより得られるロール表面の画像処理手法の開発も同時に進めてきた。

これまでに開発してきた画像処理手法の概要をFig.14に示す。

まず、CCDカメラで取り込んだ画像に輝度補正をかけて2値化処理を施す。ロール表面の黒皮部と黒皮剥離部の境界がはっきりしているため、2値化後の画像からこれらの境界を形成している縦横のクラックを接続し、剥離部を抽出(領域分割)する。圧延が進むにつれ、この境界に沿ってバンディングが発生し、ロール母材の組織が現れてくるため、抽出した領域毎の輝度を演算する。最後に、画像全体の輝度分布と、ある輝度以上の領域すなわち、バンディング部分の面積を求める。この結果を、黒皮部との面積比などで時系列的にグラフ表示していく。面積比に注意、警告のレベル判定をつけ、操業者に知らせる。

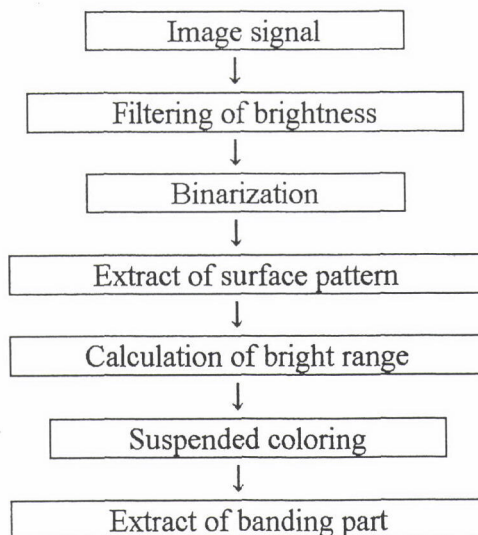


Fig.14. Flow diagram of image processing.

5. 実機での適用状況

熱延RBMは、Fig.15に示すように、1993年6月よりオンラインで開発機として使用開始し、1994年11月に実機化した。本装置は、現在、熱延仕上ミルのF2スタンドに組み込まれ、撮像成功率もほぼ100%で連続使用されている。

また、圧延中のロール肌荒れ状態が監視可能になり、噛み込みスケール疵の低減による製品の歩留り向上に大いに寄与している。

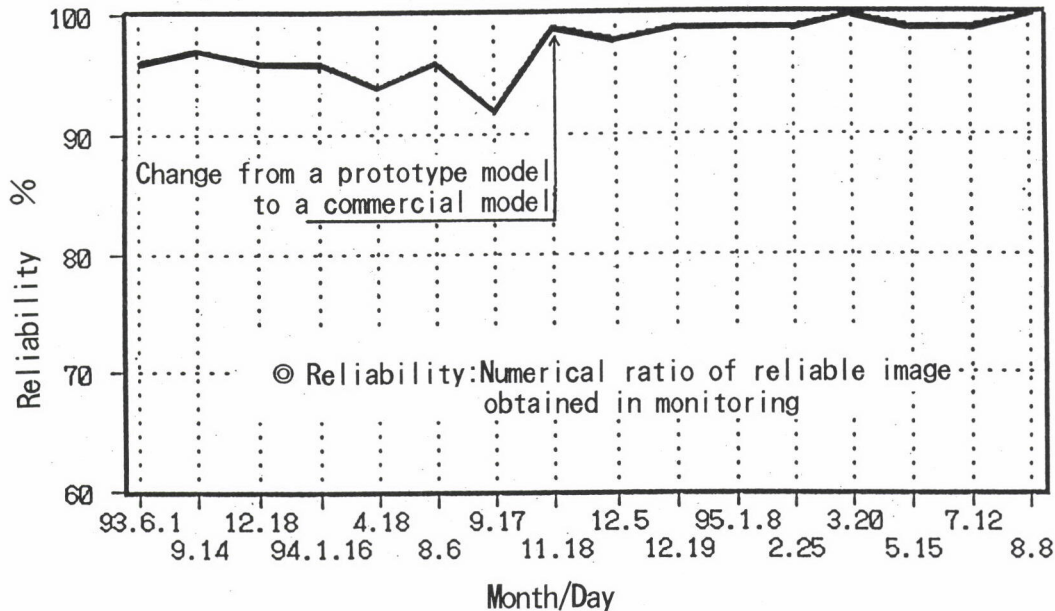


Fig.15. Transition of reliability.

6. 結言

今回開発したロールバンディングモニタは、圧延中という過酷な環境（噴射水、潤滑油、振動）下で高速回転しているロール表面をリアルタイムに非接触で観察、監視することができる。これにより、加熱炉抽出温度、圧延順、各スタンドの圧延負荷配分、潤滑油、冷却水などとロール表面の黒皮生成、剥離、肌荒れ過程との関係が明らかになるため、操業条件の解析、ロール交換時期の適正化などが可能となる。本技術は、製品表面のスケール疵発生の低減、ロール原単位の低減が図れる画期的な手段である。

今後、更なるコストダウンのために、本装置のレベルアップと他のスタンドへの適用拡大を図っていく予定である。

文献

- 1) 安井強、東洵、福田誠、出島勝郎、徳重啓司、西村哲臣：神戸製鋼技報、Vol.43、No.1（1993）、p.109
- 2) 西村哲臣、森本浩史、大池美雄、佐藤準治、東洵、福田誠：材料とプロセス、Vol.6（1993）、p.1324
- 3) 石丸誠：日本鉄鋼協会基礎研究会、圧延ロール研究部会報告書「圧延ロールの技術はどこまで進歩したか」1995年2月、p.131