

ワークロールシフトミルを利用した厚板圧延技術

Technology of Plate Rolling Using Work Roll Shift Mill

NKK福山製鉄所
総合材料技術研究所

古米孝行*・八子一了・石原慶明
柳田正宏
有泉 孝

1. 緒言

近年、厚鋼板における品質ニーズは厳格化の方向へ進んでおり、中でも平坦度についてはユーザーサイドの鋼板切断・溶接装置の自動化に伴い、高い水準が要求されている。また厚鋼板の圧延工程において、鋼板の要求材質と板厚に応じてチャージ編成すると一般に圧延材板幅構成は広範囲にわたる。特に最近、小ロット・短納期化によりこの傾向は拡大されている。これをロールチャンスを守り圧延すると、鋼種が分散しHCR比率低下を招き、また連続式加熱炉においては鋼種・要求材質別の最適加熱温度を得ることが困難となるためスケジュールフリー化の必要性は高い。

福山製鉄所厚板工場では、上記のニーズに応えるため1985年11月、厚板業界では世界初のワークロールシフト¹⁾ミルを導入した。このWRSミルは、圧延材の厚・幅・材質変化に対応した形状制御ならびにロールプロファイルの平滑化を可能にし、実操業においてさまざまな効果をあげている。

以下に設備・制御システム概要ならびにWRSミルを利用した圧延技術・操業状況について報告する。

2. 仕上圧延機の概要

仕上圧延機の主仕様をTable 1に、WRSミルの構造図をFig. 1に示す。

2. 1 板クラウン制御能力

4段ミル弾性変形モデルより計算したWRS・ワークロールベンダー（以下WRBと略記する）による板クラウン制御能力をFig. 2に示す。WRS単体での制御能力は、シフト制約により中間幅材で最大となり、WRB単体では、広幅材ほど制御効果は大きくなる。WRS・WRB併用による制御能力は、2500mm～3500mm幅で約500 μ mにおよび特に最大シフト状態におけるWRB制御能力は、2500mm幅以上において300 μ m～350 μ mにおよぶ。

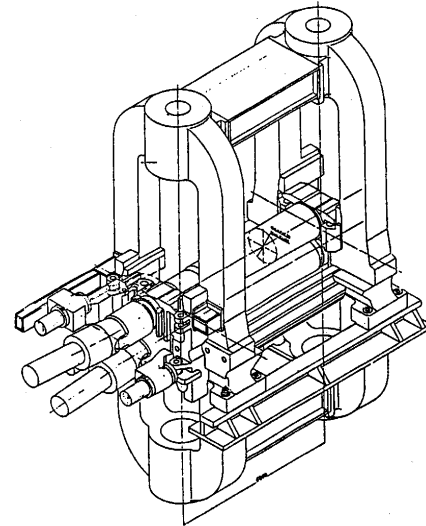


Fig. 1 Schematic of work roll shift mill.

Table 1 Specification of the mill.

Mill motor	DC 6500kw at 40/100rpm x 2
Housing	Material : SC 46 Weight : 360tx2
Rolling load and torque	Load : Maximum 88.2 MN Torque : 158t-m at 100%
Hydraulic unit	Speed : 20mm/sec at 25.5MN 10mm/sec at 51.0MN Stroke : 55mm
WRS and WRB	Shift stroke : 1000mm x 2 Bending force : 5.9MN/chock
Roll dimension	WR : 1230/1120mm ϕ x 4700mm ϕ BUR : 2200/2050mm ϕ x 4500mm ϕ

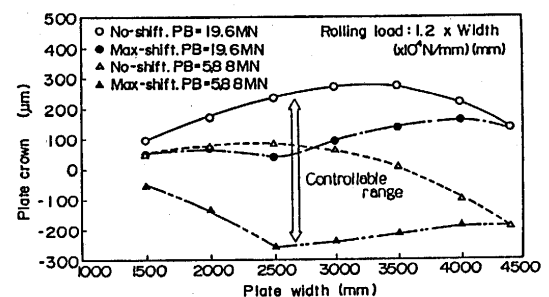


Fig. 2 Control range of plate crown obtained by calculation.

2. 2 計算機システム概要

油圧制御系を含めたシステム構成をFig. 3に示す。特徴として以下のものが、あげられる。

- (1) WRS・WRB・パスライン制御・レベリング制御などを自動運転に含め、全ての圧延材において形状制御を行っている。
- (2) 仕上圧延機の下流側に設置した3ヘッド γ 線厚さ計ならびに絶対値AGCを用いてエッジ厚・板クラウン量を制御している。
- (3) さらに油圧圧下機能を利用してバックアップロール偏芯制御²⁾・DBR（ドッグボーン圧延）を行っている。

2. 3 パススケジュール

パススケジュールは、実操業における形状と板クラウン比率変化との関係からモデル化したFig. 4に示すような形状制御モデルに基づいて決められる。

パススケジュールを作成する際の設定計算のモデルはFig. 5に示すように鋼板温度降下モデル・荷重予測モデル・ゲージメータモデルで構成されている。以上の各モデルを用い、各パス入側板クラウンを初期値として最終パスに目標クラウンとなり、かつ形状が平坦で最少のパス数となる途中パスのクラウンスケジュールをWRS・WRBの形状制御機能を使いながら繰り返し計算によって求めている。このパススケジュールの例をFig. 6に示す。

3. WRSを利用した圧延技術・実操業状況

3. 1 高精度圧延技術の達成

WRS・WRBによる形状制御能力を十分に発揮させるためには、板クラウンならびに板厚の高精度化が必要である。そのために前述したような鋼板温度降下モデル・荷重予測モデル・ゲージメータモデルを見直したことでミル前後面に設置されている温度計による温度学習・ロードセルによる変形抵抗学習・ γ 線厚さ計によるゲージメータ学習をパス間にて実施し、大幅なモデル精度の向上を図った。その結果、Fig. 7に示すように板厚精度は、大幅に向上し、本WRSミルの形状制御能力を十分に発揮させることが可能となった。

3. 2 スケジュールフリー化

形状制御能力の向上とWRSによるロールプロフィール平滑化効果により板厚精度・形状を損なうことなく完全スケジュールフリー化を実現した。

WRSの目的である(1)形状制御能力の拡大 (2)ロール膨張・摩耗の分散化を同時に達成する方法としてパス間

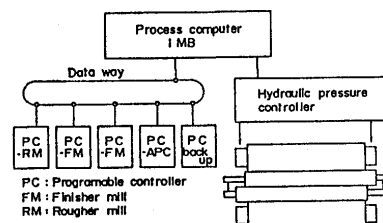


Fig. 3 Configuration of control system.

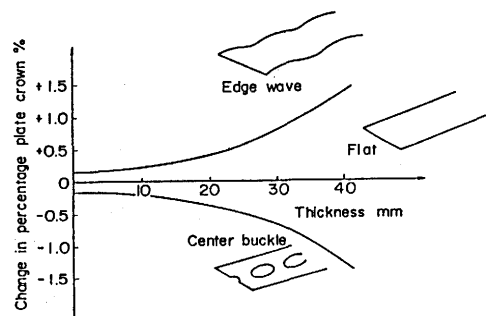


Fig. 4 Shape control model.

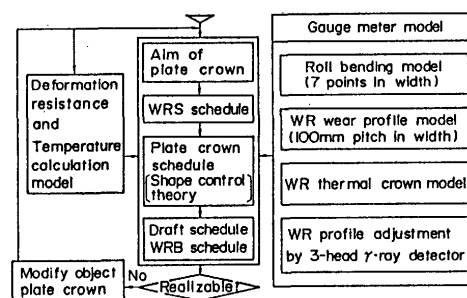


Fig. 5 Set up model.

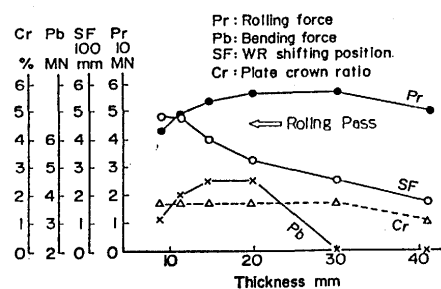


Fig. 6 Sample schedule.

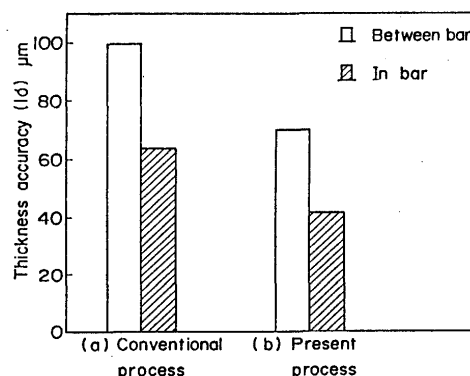


Fig. 7 Improvement of thickness accuracy.

でWRSを動かし、最終パス付近で最大シフト量となるようにする方式を基本パターンとした。

Fig. 8に完全スケジュールフリー化実施例を示す。またその際の圧延後のWR摩耗プロフィールと板クラウン量実績をそれぞれFig. 9・10に示す。WRSにより板端相当部のロール摩耗がテーパ状に分散されているのがわかる。また板クラウンについても圧延1サイクルを通じて0.10mm以下の板クラウンに制御されていることが確認できる。このスケジュールフリー化によりHCR平均温度が100℃、HCR率が20%程度向上した。

3.3 製造能力の拡大

3.3.1 薄物材製造能力の拡大

WRS・WRBによる形状制御能力の向上を圧延最終パス付近での強圧下に結び付けて、圧延材仕上温度上昇・パス数減少を、低板クラウン化と合わせて実現することができた。その結果、薄物材の製造可能範囲の拡大が可能になったが、さらなる拡大および平坦度向上をめざして次に示す2つの制御システムを開発した。

(1) 蛇行制御システム

WRS機能を有するミルにおいては、上下ロール径差・上下プロフィール差等の上下非対称性が曲がり・蛇行の発生要因である左右非対称性を生む。当ミルにおいて圧延中の蛇行によって発生する駆動側と操作側の荷重差を右記に示す制御量に換算し、リアルタイムに駆動側・操作側の両方の油圧圧下を作動させて蛇行を修正するシステムを開発した。

$$\text{荷重差: } \Delta P_{s,i} = P_{s,i} - P_{o,i} \\ (\text{P}_{s,i}: \text{荷重差} \quad \text{P}_{o,i}: \text{ロックオン時の荷重差})$$

$$\text{制御量: } \Delta S = \alpha \cdot \Delta P_{s,i} / K_L \\ (\alpha: \text{制御ゲイン} \quad K_L: \text{平行剛性係数}) \\ \alpha = a_1 \Delta P_{s,i} + b_1 \\ (a_1, b_1: \text{定数})$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_s} + 12L^2 \left(\frac{1}{K_r \cdot L_1} + \frac{1}{K_{ro} \cdot B} \right)}$$

$$L_1 = L_s - ((L_s + B) / 2 + \delta)$$

$$\left[\begin{array}{l} L: \text{ハウジングスパン} \quad B: \text{板幅} \\ L_s: \text{BURの有効長} \quad L_r: \text{WR有効長} \\ \delta: \text{半シフト時のWRエッジと板エッジの距離} \\ K_s: \text{片側のハウジングバネ定数} \\ K_r: \text{ロール単位長当たりのバネ定数} \\ K_{ro}: \text{圧延材に接する際のWRのバネ定数} \end{array} \right]$$

蛇行し始めた鋼板は、ますます中心よりずれていく。制御ゲイン α が1以下の場合、鋼板をロール中心側に戻す力はロールと材料間の摩擦力のみであり、蛇行を修正するには到らない。従って、蛇行し始めた鋼板をロール中心側に戻すためには、 α を1より大きくするとともに荷重差に応じて α を変える必要がある。

またこの制御効果を高める目的として圧延速度を下記のように制御する。

$$\Delta V_s = -a_2 b_2 \quad (\text{但し、} \Delta P_{s,i} > a_2 \text{ の場合}) \quad \left[\begin{array}{l} \Delta V_s: \text{ロール速度制御量} \\ a_2, b_2: \text{定数} \end{array} \right]$$

圧延速度が大きい程、蛇行速度は大きくなるため、圧延速度を小さくすることにより上記制御効果は大きくなる。

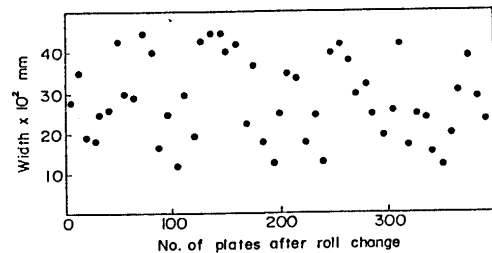


Fig.8 Rolling schedule on new mill.

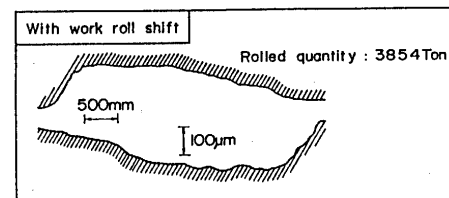


Fig.9 Work roll profile after rolling.

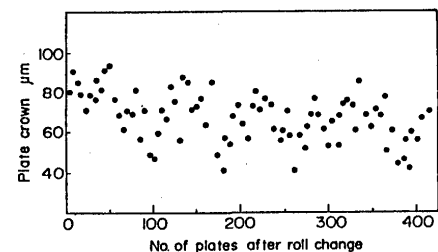


Fig.10 Change of plate crown through rolling cycle.

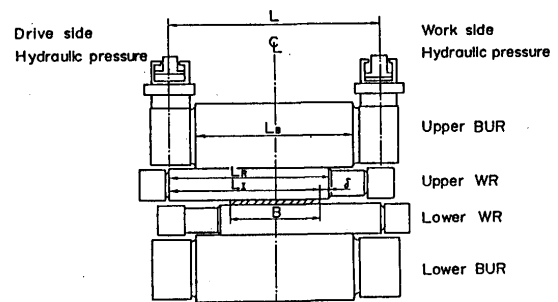


Fig.11 Outline of WRS mill on shift.

(2) ダイナミックベンダー制御

予測荷重と圧延中の実績荷重との誤差による板クラウン変化量をベンダー力によって補償することにより、形状不良を防止するシステムを開発した。Fig. 12 にダイナミックベンダーの制御概要図を示す。

以上の2つの制御技術の導入により炭素鋼・ステンレス鋼薄物材の圧延可能範囲(厚・幅・長)を大幅に拡大することができた。また炭素鋼の平坦度不良による再矯正率は、Fig. 13のように低減された。

3. 3. 2 クラッド鋼板製造能力の拡大

当工場では、圧延法によるクラッド鋼を製造しているが、WRSミル導入による初期から最終パスまでの強圧下圧延効果として以下の項目があげられる。

(1) 製造板厚範囲の拡大ならびに歩留向上

従来100mmであったクラッド鋼板の最大製品厚をWRSミル全パス強圧下圧延により150mmまで拡大するとともに合わせ材の板厚非常常部域も減少した。

(2) ³⁾Ti クラッド鋼の製品化

Ti クラッド鋼は接合界面での金属間化合物の生成防止を目的として極低温加熱・圧延を行わなければならない。形状制御を含む全パス強圧下パススケジュールによる大幅な接合性の改善を必要とした。WRSミルにより接合性を示す剪断強度が200MPa以上(JIS SPEC ≥ 140 MPa)を安定して得られるようになった。

3. 3. 3 ⁴⁾リブ付厚鋼板の製造

当工場では、内面リブ付コンクリート充填鋼管柱の原板となるリブ付厚鋼板の製造を粗・仕上の2基のミルを用いて行っている。このリブ付厚鋼板の圧延においては、高さ2.5mm以上のリブを成形するために最終パスでの強圧下が要求される。したがってクラウン比率変化が大きくなりやすく耳波形状が発生する。WRS・WRBを併用することにより平坦度の高いリブ付厚鋼板の製造を可能にしている。

4. 結言

福山製鉄所厚板工場では、形状制御ならびにロールプロフィールの平滑化を可能にするワークロールシフトミルの導入及びこのミルを利用した厚板圧延技術の開発により以下に示す成果を達成した。

- (1) 板厚精度・板クラウン精度の向上に伴う歩留の向上
- (2) スケジュールフリーに伴う熱片装入(HCR)拡大
- (3) 形状制御能力付与に伴う薄物製造可能範囲の拡大ならびに高能率化
- (4) クラッド鋼・リブ付厚鋼板等の新商品開発

〔参考文献〕

- 1) 八子一了, 石原慶明, 山脇満, 杉本忠雄, 末村陽太郎: NKK 技法, 117('87), P32
- 2) 芳賀行雄, 小川幸文, 山脇満, 村上史敏, 松尾敏憲, 升田貞和: NKK 技法, 98('83), P13
- 3) 津山青史, 関信博: NKK技法, 116('87), P92
- 4) T. Furumai, H. Matsumura, Y. Okamoto, T. Ariizumi, Y. Ishihara: ISIJ International, 31('91), P640

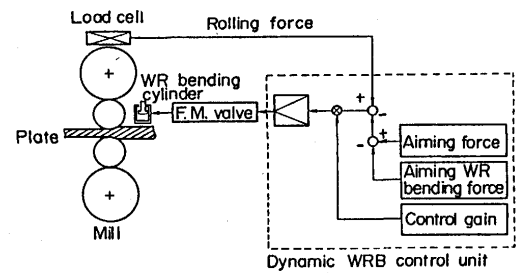


Fig.12 Outline of dynamic WRB.

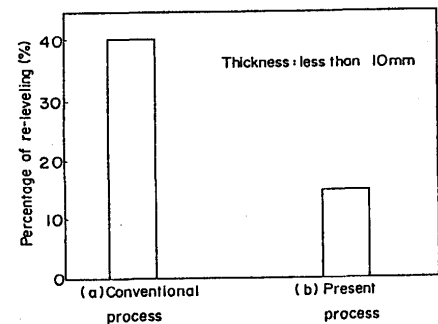


Fig.13 Improvement of percentage of re-leveling.