U.D.C. 621, 771, 237, 073-526:681, 532, 1'234

特集 圧延設備新技術

ストリップ圧延における蛇行制御 **Automatic Steering Control for Strip Rolling Mills**

高精度形状制御圧延機HC-MILLが実用化されるに及び、歩留まり向上の面から 板クラウンのない平坦な板を生産することが望まれるに至った。しかし、板クラウ ンが小さいと圧延中板が蛇行し、絞り込み事故が発生する。

これに対し、 圧延での蛇行発生機構を明らかにし、かつ圧延機の平行剛性を制御し て,板の蛇行を防止する技術を確立した。また,実際の圧延は複数以上の圧延機が 配列されるタンデムミルで行なわれることが多いが、これに対する蛇行制御の適用 法も確立することができた。

この蛇行制御を,熱間ストリップ圧延の実機に適用し,所期の成果を得ることに 成功した。

1 緒 言

板状材料を圧延する圧延機の剛性と製品品質の間には密接 な関係がある。図1に製品品質に関係する圧延機の主要な剛 性を示す。このうち、縦剛性は板厚精度に関係するが、この 剛性は油圧圧下方式が実用化されて以来、十分に制御可能と なり,板厚精度は著しく向上した。一方,横剛性は板の形状 及び板クラウンに関係するが、この剛性に関しても、高精度 形状制御圧延機(HC-MILL)が開発されるに及び、十分制御 可能となった。このように形状及び板クラウンの制御が可能に なると、 必然的に歩留まりを向上させるために板クラウンのな い平坦な板の生産が望まれる。しかし、平坦な断面の板を圧 延する場合は、板の蛇行あるいは曲り(以下、蛇行と総称)が 発生しやすくなるので、これを自動制御によって防止する技 術の確立が必要である。

以下に, 蛇行制御の制御特性及び実用化状況について述 べる。

板圧機における蛇行発生機構 2

圧延での板の蛇行は、圧延機の左右での圧下ひずみに初期

木村智明* Tomoaki Kimura 田川昌良* Masayoshi Tagawa

この板の蛇行は、圧延機のロールが図1の y 軸まわりに回 転する剛性に関係して生ずるので、これを平行剛性と名付け、 かつこの平行剛性を制御して蛇行を防止する方法を検討した。 偏差をもち、これが急速に増加する現象として生ずる。図2 でストリップがる。だけロール中心からずれたものとする。こ れにより, 圧延荷重の中心も板がずれた側に移動するが, そ の量は一般にδcより小さいため、圧延機のロールが傾き、ず れた側のロール圧下開度が開く。すなわち、圧延機の左右で の圧下率は、ずれた側 γw が減少し、他方の側 γd は増大する。 一方, 圧延中ロールの周速 VR と圧延材の速度が一致する点 は、図3(a)に示す Øの位置で、これは中立点と呼ばれる。こ れより入側では材料の速度がロール周速より遅く, 出側で は速い。この速度が相違する割合は、各々、後進率fb、先進 率 f_f と呼ばれているが、同図(b)に示すように f_b は f_f に比較し



* 日立製作所日立工場

116 日立評論 VOL. 65 No. 2(1983-2)

그가 잘 안 잘 났고도 좋겠?



て極めて大きな関係となっている。したがって、板がロール 中心よりもずれた場合には, 圧延機左右の圧下率が変化するの で、後進率差 Δf_b 及び先進率差 Δf_w が生じ、これにより図4(a)に示すように板が曲がる。すなわち、 ロール出側での曲りは わずかであるが、入側では後進率差Δfbが大のため、ロールに 対する進み差ALが生じ、板が大きく傾く。このように板が傾 くと、傾いた状態で板がロールに進入するので、同図(b)に示 すように、板のロール中心からのずれδ。は急速に増加する。 一方、板クラウンが大きい場合には、図5に示すようにロ ールは凹形状となっていると考えてよい。したがって、板は 圧下率の小さな側にずれても,ある程度ずれた後は圧下率が 逆転し、 ロール中心方向に戻ってくるようになる。 すなわち、 このような板クラウンをもつ圧延では、蛇行の少ない安定し た圧延が可能である。これに対し、板クラウンのない平坦な 板を圧延する場合は,上述のような求心性が期待できず蛇行 の生じやすい不安定な圧延となる。

3 蛇行制御の原理

図2で、板がロール中心よりもずれ、これに伴い圧延機左 右に荷重偏差 Pdf が生じたものとする。圧延ロールの平行剛 性係数を Kiとすれば、上記偏差荷重により Pdf/Kiのロール開 度偏差が生ずる。したがって、蛇行制御は次式によりこの開



図2 板がロール中心よりもずれた場合の荷重・ロール開度及び 圧下率の関係 板がロール中心よりずれると、ずれた側に荷重中心もずれ るが、その量は板のずれ量よりも小さく、ロールが傾き、ずれた側での圧下率 が減少する。 度偏差を補償するように制御する。

 $\alpha_l \cdot Pdf/K_l + Sdf = 0$

ここに α_l:制御定数, Sdf:開度制御量

制御された平行剛性係数は、 $K_{lc} = K_l/(1-\alpha_l)$ となる。 $\alpha_l < 1$ の場合は制御不足で、蛇行を防止することができず、 また、 $\alpha_l = 1$ では板が蛇行してもこれを積極的にロール中



26



図3 圧延材の先進及び後進率の特性 後進率は先進率に比較し大きいので、左右の 圧下率差が生ずると、その影響は主に後進率 差Δfbに現われる。



図4 板の蛇行発生状況 圧延機出側 での板の蛇行は小さいが,入側では板が傾き, かつ矢印方向に材料は進行するから,材料の 中心からのずれる。は急速に増加する。

ストリップ圧延における蛇行制御 117



図5 板クラウンが大きい場合の蛇行現象 板クラウンが大きいと、 板のずれに伴い左右の圧下率rの大小は逆転し、再び中心側に板が戻ってくる ので、蛇行は生じにくい。

心側に戻す機能はない。 $\alpha_l > 1$ の場合は、板が蛇行すると蛇行した側の圧下率が増加し、前述した板クラウンが大きい場合と同様な現象となり求心性のある制御が可能になる。

図6に実際の圧延機に本蛇行制御を適用する場合の制御回路を示す。この制御回路には、前述の平行剛性係数を制御する*a*_l/*K*_lのほかに、微分による位相進め回路(T.s)が加えられる。

4 蛇行制御特性

図7に本蛇行制御法での板クラウンのない平坦な板の圧延



での制御安定領域,及び蛇行制御特性に対する代表的な例を 示す。同図(a)に示す制御安定領域は a_l と制御速度ゲインKi·T の関係で定められ、三角形状の斜線で示す部分が安定領域と なる。これに対する実験結果も理論と良い照合を示している ことが分かる。なお、制御が安定となるためには前述したよ うに、 $a_l > 1$ の条件を満たす必要がある。また、代表的な制 御特性を示す同図(b)でも、理論と実験値は良好な対応を示し、 制御安定領域内ではロール中心からの板のずれ δ_c が少ない安 定した圧延が可能である。

なお、制御安定領域内の α_l とKi·Tの設定により定まる各点

図6 蛇行制御回路 蛇行制御回路は左右の荷重偏差 Pdf に対応して, 左 右のロール開度を補償制御するように構成される。



118 日立評論 VOL. 65 No. 2(1983-2)



図8 制御安定領域内各点の制御特性 alを大にすると制御のオフセット量が, Ki·Tを大にするとセッティング時間が短くなり, 両者を小さくするには ⑧⑨近傍で制御することが望ましい。

の制御特性を図8に示す。一般に α_l を大にすると制御のオフ セット量 δ_c が小になり、Ki·Tを大にすると制御のセッティン グ時間なが短くなることが分かる。制御のオフセット量及び セッティング時間はいずれも小さいことが望ましく、かつ制 御の安定性の面から図中の⑧、⑨近傍の条件で制御を行なう のがよい。

プが抜け、次のスタンドが張力のない状態(尻抜け圧延と呼ばれる。)で圧延している場合に蛇行が最も発生しやすい。

以上のように,実機に蛇行制御を適用する場合は,張力の 影響を考慮する必要がある。

更に、実機では板クラウンがいつも平坦ではなく、特に熱

5 実機への適用検討

5.1 実機での圧延条件

以上では単スタンドで板状のものを圧延する場合について 検討したが、実際にはタンデムミルでストリップがスタンド 間にまたがって圧延されることが多い。この場合には図9に 示すように、スタンド間のストリップに張力が作用しており、 この張力の影響を受けて、ロールバイトの中立角φが変化す る。したがって、対象とするスタンドで左右の圧下率に相違 があると、スタンド入出側の速度及び張力分布は実線に示す ように発生する。しかし、このような張力分布の発生により、 同図中の表に示すように中立角φ、先進率 ft、後進率 ftが変 化する。すなわち、スタンド間の速度は点線で示すように均 一化し、自己平衡作用的に蛇行が減少する。

したがって, タンデムミルでは前のスタンドからストリッ

間ストリップ圧延では、冷延向け対象製品に対して若干の板 クラウンが必要とされるなど、板クラウンが存在する場合が 多い。

したがって、以下には実機への適用を考慮して、蛇行制御 に対する張力及び板クラウンの影響について検討する。

5.2 張力がある場合の蛇行制御

対象とする圧延機としては,熱間ストリップ圧延用として 代表的な図10に示すHC-MILLを取り上げ,蛇行制御特性の 検討を行なった。これのロール仕様及び圧延条件も同図中に示 した。このような形式の圧延機がタンデムに配置されているも のとし,かつ板厚が薄く最も蛇行しやすい最終スタンドを考 える。なお,板クラウンは平坦で,同図の圧延機での中間ロ ールの位置HCδは0とする。

ここで、板がロール中心よりも5mmずれるような初期外乱 があったものとして、それ以降圧延の進行とともに板の先端 がどのような軌跡をたどって圧延されるかについてシミュレ







図 9 スタンド間張力に よる蛇行減少機構 スタ ンド間に張力が作用している 場合は,張力により自己平衡 的に圧延機入側の速度が均一 化し,蛇行は生じにくい。

 $\mathbf{28}$

ーションした結果を図11に示す。

張力がない場合は, 圧延の経過とともに板が急速に蛇行し てゆくことが分かる。

これに対し、スタンド間に張力がある場合は、蛇行は極端 に小さくなる。また、これに対する蛇行制御は制御定数 al を 0.6~0.9程度に選定すれば、蛇行の少ない圧延が可能である。 以上の理由から、実際のタンデムミルでの蛇行制御は図12

に示すように、制御定数を圧延状況に応じ適正に選定して実







制御ゲインαι

先端 α_{ll} =0.8~1.0,中央 α_{lc} =0.6~0.9,後端 α_{lb} =1.1~1.2

図12 タンデムミルでの蛇行制御方法 タンデムミルでの蛇行制御は, スタンド間の張力がない場合のストリップ先端、後端で制御定数を大にし、張 力が確定した中央部分では、制御定数を減少させるように制御される。

施する必要がある。すなわち、ストリップかみ込み時は張力が 不十分なのでα1をやや高めに, 張力が作用した後は低く, 最 後の尻抜け圧延でαιを所定の値に高めるようにするのがよい。

5.3 板クラウンがある場合の蛇行制御

図13に、無張力及び無制御時の板クラウンの影響による蛇 行の発生状況を示す。初期外乱は前述の場合と同様, ロール 中心からのずれを5mmとした。

(a) ロール仕様

	1	_	ル		材	質	ロール径(mm)	胴長(mm)
作	業	П	-	ル	ニッケル	グレーン	650	2,300
中	間		-	ル	鍛	鋼	610	2,300
補	強			ル	鍛	鋼	1,290	2,300

(b) 圧延条件

項	目	圧 延 条 件
板	厚	入 側 4.3→出側3.2mm
板	幅	900mm
匠 延 荷	苛 重	850t f
ベンタ	ズ 力	0-65tf/Chock
正 延 速	速 度	1,000m/min

実機蛇行制御シミュレーション検討用圧延機仕様及び圧延 図10 シミュレーションの条件としては、蛇行が最も発生しやすい熱間タン 条件 デムミルの最終スタンドに相当する条件とした。

板クラウンChが大になるほど板の蛇行は少なくなり、板ク ラウンが500~600µ程度あれば無張力圧延でも蛇行の少ない圧 延が可能となる。

実機の圧延では、板クラウンの大きさは通常100μ以下であ り、更に板クラウンをCh=0、すなわち平坦な板に圧延する と板は大きく蛇行しやすい。実際には板が蛇行すると、スタ ンド間にはサイドガイドが設けられており、本シミュレーシ ョンのように無制限に蛇行することが防止される。ただし, 板厚が薄いと板がサイドガイドに当たり,折れ込んで絞り込 み事故が発生する。この絞り込み事故は,現状の四重式熱間 ストリップ圧延機でも、薄くて硬い材料を圧延する場合にし ばしば生ずる。

図14には図13のものに対し、蛇行制御を行なった場合の制



図11 蛇行特性に対する張力の影響 無張力時には板は大きく蛇行す るが, 張力がある場合は蛇行が極端に小さくなり, かつ蛇行制御の制御定数αι は1.0より小さな値でよい。

図13 無張力・無制御時の板クラウンによる蛇行発生状況 板ク ラウンが小さいと蛇行は大きくなり、板クラウンが500~600μ程度あれば蛇行 が少ない圧延となる。実際の板クラウンは100μ以下であるから、無張力・無制 御での圧延は難しい。

29

120 日立評論 VOL. 65 No. 2(1983-2)



ればパス中心に対し求心的な安定した圧延が可能になる。

なお,板クラウンがある場合の蛇行制御の制御安定領域を 図15に示す。この制御安定領域は板クラウンChが大になると ともに安定領域が拡大され、かつαιの小さな側に移動する。

6 実機への適用状況

以上に述べたように,板圧延での蛇行は板クラウンが平坦 な場合,及び張力が付与されない状態で圧延される場合に発 生しやすい。このような圧延は、厚板圧延、熱間ストリップ 圧延などで行なわれるので、これらに本蛇行制御を適用する ことが要望されている。

これまでの適用状況は、熱間ストリップ圧延用2基で、更 に3基を製作中である。

図16に、HC-MILLによって平坦な板クラウンに圧延され る熱間ストリップ圧延設備の最終スタンドからストリップが 圧延され,出てきた状況を示す。蛇行制御を行なわない場合 は、しばしばストリップに波状の曲りあるいは後端部に片曲 りなどが生ずるが、本蛇行制御の適用によりほぼ真っすぐな ストリップに圧延することができる。

7 結 言

板クラウンのない平坦な板あるいはストリップを、特に無 張力状態で圧延する場合には蛇行しやすいことを理論的に明 らかにし、かつこの蛇行を圧延機の平行剛性を制御すること によって防止する技術を確立した。

本蛇行制御の実機への適用では,実際の圧延条件,すなわ ち板クラウン・張力条件に応じ、適切な制御定数を選定して 制御を実施することによって, 蛇行の少ないほぼ真っすぐな ストリップに圧延することができた。



図15 板クラウンがある場合の制御安定領域 板クラウンが大になる とともに制御領域も拡大され、かつαιの小さな側に移動する。



図16 熱間ストリップ圧延での蛇行制御状況 熱間用HC-MILLに蛇 行制御を適用して圧延したストリップで、ほぼ真っすぐな製品に圧延が可能である。

終わりに、本報告中, 蛇行制御に関する基本技術について の研究は,新日本製鐵株式会社と日立製作所との共同研究で 行なわれたものである。この研究に当たり多大の御指導、御 協力をいただいた多くの関係各位に対し、深謝の意を表わす 次第である。

参考文献

1) 中島,外:第31回塑性加工連合講演会,ホットストリップ圧 延における蛇行制御法の研究, 471~474(昭55-11) 2) 木村,外:第72回圧延理論部会資料,蛇行修正制御に及ぼす 板クラウンの影響, No. 72-4(昭57-4)

30