

討10 ホットストリップミルにおける板プロフィールの制御について

川崎製鉄(株) 技研 ○ 鎌田征雄, 北村邦雄, 中川吉左衛門
千葉 玉井敏行, 足立明夫, 福島巖, 若嶋英彦

1. 緒言

熱間圧延における板厚精度の要求は圧延方向だけでなく、幅方向についても厳しくなっている。また、熱延板のプロフィールは冷延板のプロフィールや形状に大きく影響することは衆知の通りである。冷間圧延材ではTMW(Theoretical minimum weighing)契約方式の需要が最近では増加する傾向にあり、熱延材のプロフィールを改善する必要に迫られている。

本報告は、熱延板のクラウンやエッジドロップ等のプロフィールを制御するうえでこれらの影響要因となりうる仕上圧延でのロール条件や圧延条件について理論的かつ実験的に検討したものである。

2. 熱延板プロフィールに影響する諸要因の説明

熱間仕上圧延において板プロフィールに影響する種々の要因を図1に示す。ロール条件として、イニシャルプロフィール・摩耗が板クラウンやエッジドロップに影響し、サーマルクラウンは板クラウンに影響する。圧延条件としてはサイクルの組み方が板クラウンやエッジドロップに影響し、圧下配分・圧延荷重・圧延温度が板クラウンに影響すると予想される。制御機能としてロールベンダーは板クラウンに対しては現状の方法ではほとんど効果がなく、せいぜい形状の制御に対して有効となるだけである。クーラントによる制御はサーマルクラウンや圧延材の温度を制御するので有効であると考えられるが、少々の流量制御では効果が小さいと予想される。

ここでは、板クラウンの制御に主眼を置き、ロールのサーマルクラウンや摩耗の変化および圧延条件として圧延温度・圧延荷重・圧下配分の影響を述べる。また、エッジドロップについてはW・Rのイニシャルプロフィールによる改善効果を述べる。

3. 板クラウンに影響する諸要因の検討

3.1 サーマルクラウンおよび摩耗量の変化

図2は7stdsの熱間仕上圧延機により板厚を2.6mmから3.2mmまで1サイクルで30, 55, 80コイル圧延したときのF1, F4, F7stdのW・Rのサーマルクラウン(直径当り)の変化を示したものである。圧延開始後55本までは急激に増大するが以後はあまり増大しない。圧延直後でF1: 250 μ , F4: 225 μ , F7: 130 μ 程度である。さらにロール冷却水量の効果は、圧延初期では流量が少ないほうが急にサーマルクラウンが増大する傾向にあるが、圧延終了時では同程度になる。また、理論解析結果からも通常の熱伝達係数の範囲(1000~2000 kcal/m²hc)では熱伝達係数を大きくしてもサーマルクラウンを小さくする効果が僅かであることが判明している。ロールクーラント水量によるサーマルクラウンの制御は現状設備では大きな効果は望めないことがわかる。

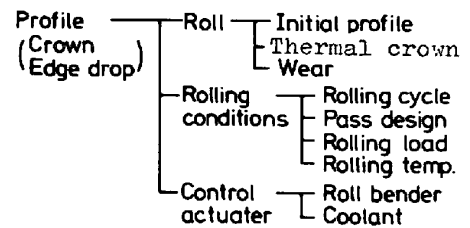


図1 熱延板プロフィールに影響をおよぼす諸要因

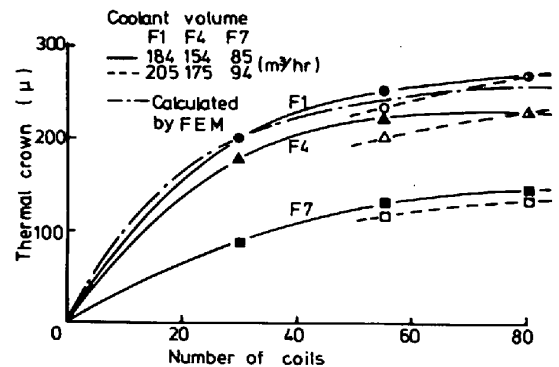


図2 W・Rのサーマルクラウンの変化

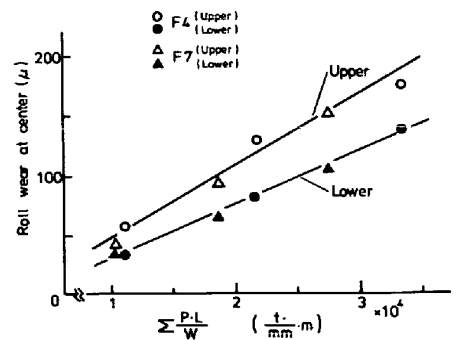


図3 W・Rの摩耗量とΣP-L/Wとの関係

図3はこの場合のW.R中心部の摩耗量(直径当り)をF4, F7 std (ニッケルグレンロール)について示したもので、単位幅圧延荷重×圧延長さの総量でよく整理されることがわかる。これらの関係はロール胴長方向の摩耗分布に対しても非常に相関がよいことがわかった。圧延終了時には上下ロールを平均するとF4:150 μ , F7:125 μ 程度である。F1 stdはアグマイトロールを使用しており、黒灰の生成でほとんど摩耗していない。この場合の1サイクルでの板クラウンの変化を示したものが図4であり、サイクル内ではほぼ一定の圧下配分で圧延されている。板クラウンは圧延初期では約100 μ であり、以後50本前後までは急激に減少し、それからは減少の程度は小さく、80本目には約20 μ になる。この変化の挙動は摩耗の影響があるので量的には1/2程度であるがW.Rのサーマルクラウンの変化と逆の関係になっていることがわかる。

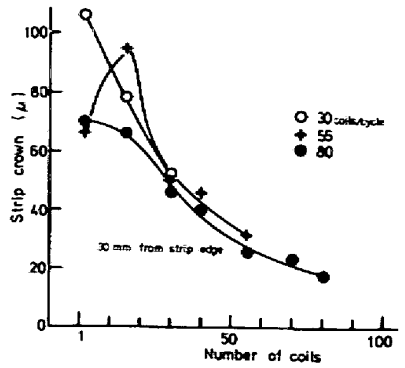


図4. 1サイクル内での板クラウンの変化

表1. 実験材と設定圧延条件

Group	No.	Strip size (mm)	Finish std.	Finish std. (%)	FDT (°C)
1	1	26/3.2 × 1000	7	30	830 ~ 860
	2	"	7	"	860-
2	3	26/4.5 × 980	7	"	"
	4	"	4	"	830 ~ 860
	5	"	4	"	860-
3	6	26/4.5 × 1010	7	10	830 ~ 860
	7	"	7	"	860-

3.2 圧延条件による板クラウン制御の検討

上述のように、圧延材のクラウンはW.Rのサーマルクラウン等により大きく影響されるので、それらを見掛上は無視しうるような圧延条件が必要であり、この点を検討した。(以後、板クラウンとは端部25mmと中央部との板厚差である。)

3.2.1 圧延温度および圧下率や圧延荷重の影響

圧延温度や圧下率および圧延荷重の影響を調べるため表1に示すような実験材・圧延条件により、実験7stds仕上圧延機による実験を行なった。実験材はGroup 1. 2が106本サイクルの95~104本目に、Group 3は108本サイクルの46, 47本目に入れた。

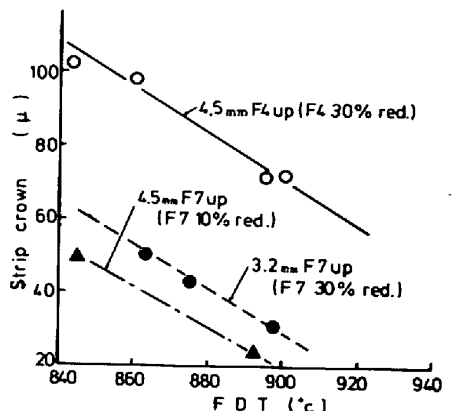


図5. FDTと板クラウンとの関係

図5はGroupごと仕上出側温度(FDT)と幅1000mm換算の板クラウンとの関係を示したものである。FDTが高くなると圧延材の変形抵抗が小さいため圧延荷重が小さくなり、ロールの挽み量が小さくなることやW.Rのサーマルクラウンが大きくなることなどの重畳効果により板クラウンは小さくなる。各Groupとも直線的な関係が成立しており、FDTが10°C高くなると板クラウンは約6 μ 減少する。また、F7仕上で最終stdの圧下率が低いほうが板クラウンは小さく、F4仕上材はもっとも大きい。

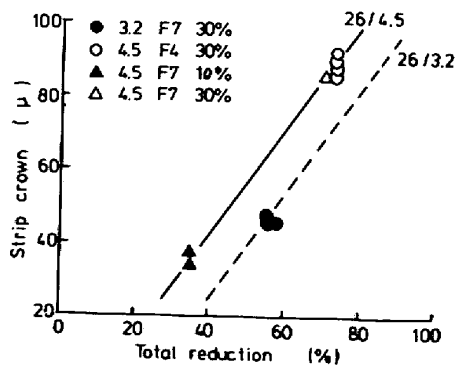


図6. 後半3stds合計圧下率と板クラウンとの関係

図6は後段3stdsの合計圧下率と板クラウンとの関係を示したものである。板クラウンは図5の関係からFDTを870°Cに換算している。仕上厚4.5mmに着目すると仕上stdによらず直線的な関係が見いだせる。すなわち、圧下率が10%増加することにより板クラウンは約14 μ 増大する。図7は後段3stds合計単位幅圧延荷重や全stds合計単位幅圧延荷重と幅1000mm換算の板クラウンとの関係を示したものである。後段3stds合計では若干のばらつきはあるが相関はよく、圧延荷重が高くなると板クラウンは増大する。しかし、全stds合計と板クラウンとは相関はないことがわかる。

これらから、後段stdsの圧下率を小さくすれば板クラウンは小さくなることがわかり、圧下配分によ

り板クラウンの制御が可能であると判断される。なお、No.3はほぼ全stds等圧下率配分で、No.7は前段stds高圧下率、後段stds軽圧下率の圧下配分である。板厚やFDTは全く同じである。No.3はサイクルの後期に組み込まれ、No.7は中期に組み込まれているにもかかわらず、No.7のほうが約50 μ も板クラウンは小さい。

これらの実験結果やロール変形量の理論解析により、圧延材のクラウンには前段や中段stdsのみの圧下配分の影響は小さく、ほとんど後段stdsの圧下率により決定されることが判明した。

3.2.2 圧下配分によるサイクル内の板クラウンの制御

ここでは、同一サイクル内での板クラウンの制御を目的として同じ板厚の圧延でも後段stds軽圧下率配分、全stds等圧下率配分、後段stds高圧下率配分にしたときの板クラウンへの影響度を理論計算や実験圧延実験により検討した。

図8は板厚を26mmから4.5mmまで圧延した場合に圧下配分の選び方により板クラウンがどのように異なってくるか、理論計算により検討した結果である。各stdsごとの圧下率は図中に示したとおりである。計算結果から、後段stds高圧下率配分にすると170 μ 、軽圧下率配分にすると10 μ と大きく変化しており、図4に示したサイクル内の板クラウンの制御に有効であることが示唆される。

上記の結果に基づき、表8に示すような、A：後段stds軽圧下率、B：全stds等圧下率、C：後段stds高圧下率の3種類の圧下配分について、実験材をサイクルの初期(1~3本目)、中期(46~48本目)、後期(93~95本目)に組み込んで実験圧延実験を行った。圧延材は幅930mmのものを仕上圧延機にて板厚を26mmから3.2mmに圧延している。図9は実験結果であり、仕上板クラウンの圧延本数による変化を示している。サイクル初期ではA型圧下配分で約85 μ 、B型圧下配分で約105 μ 、C型圧下配分で約130 μ 、中期ではA型で約70 μ 、B型で約85 μ 、C型で約115 μ となり、後期になるとA型で約40 μ 、B型で約55 μ 、C型で約75 μ となる。各圧下配分ごとのサイクル内の板クラウンの変化は約50 μ であり、A型圧下配分とC型圧下配分による板クラウンの差はサイクルのどの位置でも約40 μ である。この結果から、圧延初期でA型圧下配分に、中期でB型圧下配分に、後期でC型圧下配分に変更することにより、サイクル内の板クラウンは約10 μ とほとんど一定に圧延することが可能になる。本実験のように、板クラウンが90~80 μ と大きくなる場合はW.Rのイニシャルクラウンをより凸カーブ傾向にすることで制御は容易である。なお、このときの圧延材の形状を圧延機出側(圧延直後)、巻取機入側(ホットラン冷却直後)およびスキンパス前(完全冷却後)の3箇所で見視観察したが、各場所により形状

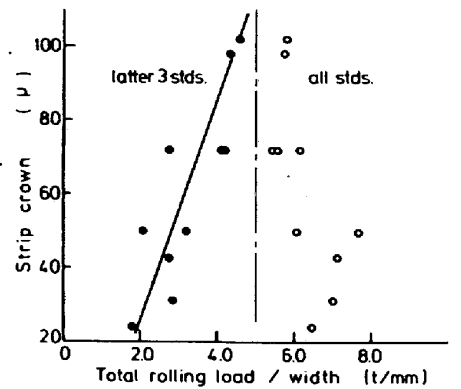


図7. 後半3stds合計圧延荷重および全stds合計圧延荷重と板クラウンとの関係

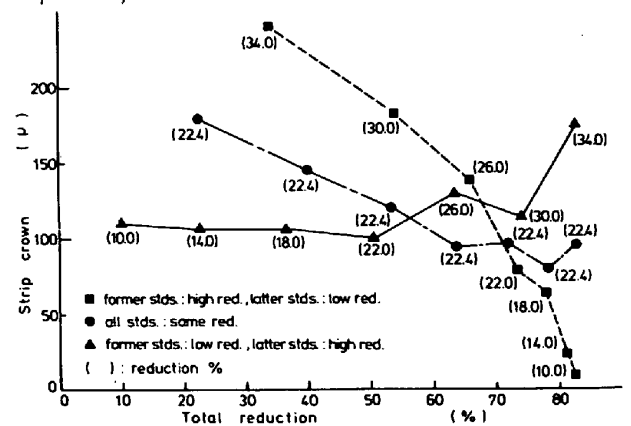


図8. 圧下配分による板クラウンのスタンドごとの変化(計算結果)

表8. 圧下配分の設定条件(%)

Std	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
A	350	330	300	270	240	190	120
B	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
C	120	190	240	262	320	330	300

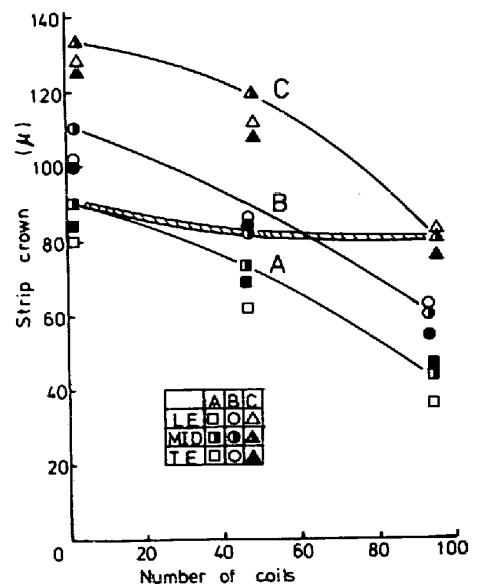


図9. 圧下配分による板クラウンの変化(実験結果)

は異なっており、圧延機出側や巻取機入側では圧下配分に応じた傾向が見られたが、完全冷却後のスキンパス入側では形状は全コイルともほとんど差異がないようであった。熱間圧延で形状を判定するにはどの場所を重視するかが問題であり、それによって制御方法が異なってくると考えられる。

4. エッジドロップの改善についての検討

従来の4段ミルではエッジドロップに対しては局所的な現象のため圧下配分等の圧延条件を制御しても大きな改善効果は期待できない。エッジドロップは圧延材の端部近傍でのW.Rの偏平変形の挙動に大きく影響されると予想し、図10に示したように、その部分からロール端部にかけて数100μ小径になるような台形型のロールプロフィールを最終stdのW.Rに採用し、サイクルの初期コイルについて実機実験した。

図10は実験結果の1例を示したもので、圧延部の研磨幅は200mmの場合である。エッジドロップ量は研磨深さによりほぼ直線的に減少していることがわかる。すなわち、端部100mmと10mmの間では研磨深さを260μにするとエッジドロップは50μ程度も改善される。また、研磨深さが120μでは板クラウンはまったく変化せず、エッジドロップだけが改善されている。

このように、エッジドロップに対しては板幅端部近傍でのW.Rのイニシャルプロフィールでかなりの制御が可能であることが判明した。

5. ロールベンダーによる制御効果

従来のロールベンダーでは熱間圧延中の板の形状制御にはある程度効果があるが、プロフィール制御に対してはほとんど効果がないことが報告されている³⁾。当社では従来のシングルショック式W.Rベンダーにかわって、ダブルショック式W.Rベンダーを開発することにより機能の向上を図った。これにより、従来式より2.3倍の能力の増大が認められることが判明した。しかしながら、最終stdのみの使用では、板の形状制御には非常に効果がみられたが、クラウン制御に対しては10μ程度の修正効果で、前述のような圧下配分による効果には達していない。

6. 結 言

熱間仕上圧延時の板クラウンやエッジドロップ等のプロフィール制御における諸要因の影響について、理論的ならびに実験的に検討した結果から、次の事項が判明した。

- (1) 圧延仕上温度と板クラウンとは直線的な関係があり、仕上温度を高くすると板クラウンは減少する。
- (2) 板クラウンは仕上圧延機の後段スタンドの圧下配分に大きく影響され、たとえば後段3スタンドの合計圧下率や合計圧延荷重を高くすると板クラウンは増大する。
- (3) サイクル内の前半コイルに対しては後段スタンドを軽圧下率の圧下配分に、以後圧延が進むにつれて全スタンドを等圧下率配分やさらに後半コイルになるにしたがい後段スタンドを高圧下率の圧下配分に変更していくことにより、ロールのサーマルクラウン等の影響を見掛上は無視できるようなつねに一定の板クラウンに制御できることが判明した。
- (4) エッジドロップに対しては、板端部に相当するW.R部分のイニシャルプロフィールにより改善できる。

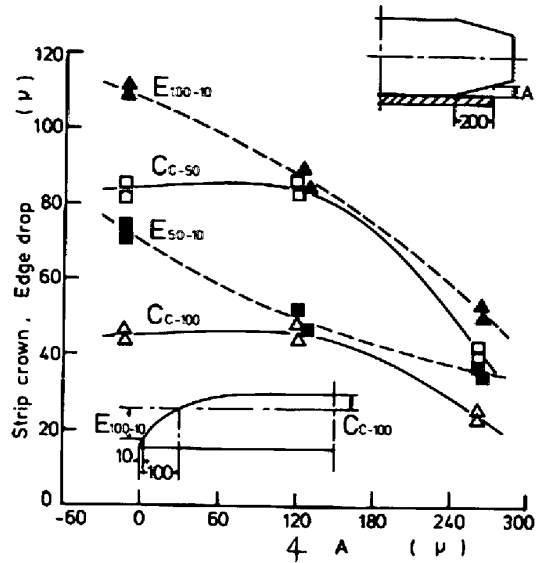


図10. W.Rエッジの研磨深さとエッジドロップとの関係

参考文献 1)北村ら：鉄と鋼，62(1976)11, S616, 2)たとえば, K.N. Shohetら：J I S I, 206(1968)11, 1088
3)土屋ら：鉄と鋼, 61(1975)12, S201, 4)持公昭, 51-26142, 26143