
薄板圧延における形状とプロフィルの制御

Flatness and Profile Control in Hot and Cold Rolling for Steel Strip

鍵田 征雄(Ikuo Yarita) 北村 邦雄(Kunio Kitamura) 片岡 健二(Kenji Kataoka) 中
川 吉右衛門(Kichizaemon Nakagawa)

要旨：

熱延鋼板や冷延鋼板に要求される最も重要で基本的な品質に形状とプロフィルが挙げられる。筆者らは 4 段圧延機による冷間と熱間の薄板圧延における形状とプロフィルの制御方法について理論的かつ実験的な検討を行った結果、以下に示すような制御技術を確立できた。(1) 冷間圧延において、形状やプロフィルを制御するためには、熱延母材の内部性状やプロフィルの適正化が最も重要になる。これらの適正化を行ない、さらにロールキャンバ、圧延スケジュール、ロールベンディング力などの冷間圧延条件を適正化する方法を示した。(2) 熱間圧延において、圧延の進行とともに仕上圧延機の圧下率配分を変更することによる形状修正も考慮したクラウンの制御技術と台形クラウン付作業ロールによるエッジドロップの改善技術を開発した。

Synopsis：

One of the most important and principal qualities required of hot-and cold-rolled steel strip is good flatness and profile. Practical and theoretical studies into control systems on flatness and profile of the strip and their applications in full scale 4-high mills have led to the following conclusions and to the establishment of control method. (1) A hot-rolled strip having such uniformed internal property as that from continuously cast steel is desirable to get a cold rolled strip with good flatness. And a hot-rolled strip having convex crown of $30 \sim 60 \mu$ without surface abnormalities leading to ridge (so-called high spot) is suitable to get a good flatness and profile of cold -rolled strip. Furthermore, some cold rolling conditions are discussed in order to optimize work-roll camber, rolling schedule and roll bending force in cold rolling. (2) In hot rolling process, the crown control method using on-line draft distribution change among finishing stands and the edge drop improvement method by use of trapezoid-cambered roll have been developed successfully.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

薄板圧延における形状とプロフィールの制御

Flatness and Profile Control in Hot and Cold
Rolling for Steel Strip

鎌田 征雄*

Ikko Yarita

北村 邦雄**

Kunio Kitamura

片岡 健二*

Kenji Kataoka

中川 吉左衛門***

Kichizaemon Nakagawa

Synopsis:

One of the most important and principal qualities required of hot- and cold-rolled steel strip is good flatness and profile. Practical and theoretical studies into control systems on flatness and profile of the strip and their applications in full scale 4-high mills have led to the following conclusions and to the establishment of control method.

(1) A hot-rolled strip having such uniformed internal property as that from continuously cast steel is desirable to get a cold rolled strip with good flatness. And a hot-rolled strip having convex crown of $30 \sim 60 \mu$ without surface abnormalities leading to ridge (so-called high spot) is suitable to get a good flatness and profile of cold-rolled strip. Furthermore, some cold rolling conditions are discussed in order to optimize work-roll camber, rolling schedule and roll bending force in cold rolling.

(2) In hot rolling process, the crown control method using on-line draft distribution change among finishing stands and the edge drop improvement method by use of trapezoid-cambered roll have been developed successfully.

1. 緒 言

圧延板材の寸法・形状品質に対する需要家からの要求は年とともに厳しくなっていく趨勢にある。板厚については、TMW (Theoretical Minimum Weighing) 契約方式が増大する傾向にあり、長手方向の精度だけでなく、幅方向の板厚、すなわちプロフィールに対しても厳しい精度が必要とされる。

形状についても、薄物材になるほどこの品質要求は厳しくなり、その制御も難しくなる。

プロフィールや形状のセンサーも種々の形式のものが開発され、実機圧延機に設置されており、幅端部の検出精度や温度補正および材質補正などの問題が残されているが、実操業に活かされている。

一方、形状を修正すべき設備機器や方法に関しては、6段圧延機のような新しい圧延機も開発さ

* 技術研究所加工研究室主任研究員

** 技術研究所加工研究室

*** 技術研究所加工研究室室長・工博

〔昭和54年3月5日原稿受付〕

れ、制御機能の向上が図られている。しかし、4段圧延機においては、ロールキャンバーの適正化やロールベンダー、ロールクーラントなどに依存している。圧延材には成分や温度のばらつきによる機械的性質のばらつきが長手・幅方向に顕存しており、また圧延中にロールのサーマルクラウンと摩耗の成長がある。このため4段圧延機において前記の制御機能だけでこれらの形状変動要因を修正するには、能力的に十分とはいえないのが現状である。

本稿では、既設の4段式圧延機を対象として冷間と熱間の薄板圧延において形状やプロフィルの制御を目的として行った操業実験や理論による検討の結果およびこれから開発された技術を総合的にまとめた。

2. 冷間圧延における形状とプロフィルの制御

2-1 形状制御

形状品質に対する要求が厳しく、その制御も非常に難しい薄物メッキ原板を主体に熱延母板や冷延条件などの諸要因の影響を述べる。

なお、形状の急峻度やクラウン・エッジドロップはFig. 1に示すように定義した。形状の急峻度は $L=1000\text{mm}$ の平均をとっている。クラウン C_H 、 C_h はそれぞれ入側と出側を意味する。また、たとえば C_{H25} は中心板厚と端部25mmの板厚との差($H_C - H_{25}$)を、 C_{H50} は $H_C - H_{50}$ を意味し、エッジドロップ E_{H100} は端部100mmの板厚と端部10mmの板厚との差($H_{100} - H_{10}$)を意味し、左右の平均をとっている。

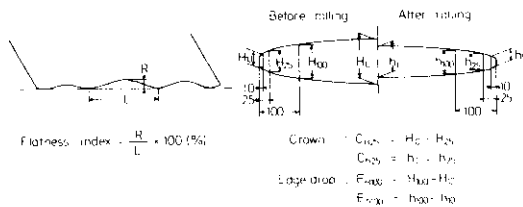


Fig. 1 Definition of flatness and cross profile of rolled strip

2-1-1 母板要因の影響

まず、母板の内部性状の影響について、普通リムド鋼材と連続鍛造材を例に述べる。

Fig. 2はリムド鋼材(C: 0.08wt%)において熱延仕上げ温度が780°Cと850°Cで圧延した場合の熱延母板の幅方向の硬度(H_RB)分布を示したものである。780°Cの場合は中心層相当部はA₃変態点以上で圧延されており、組織が細粒化しているのに比較し、リム層相当部はA₃変態点以下で圧延され、組織が粗粒化されるため硬度は急激に低下している。一方、850°Cの場合はリム層相当部、中心層相当部ともA₃変態点以上で圧延され、組織は全幅にわたり均一に細粒化されるため、硬度の分布は比較的均一になる。最端部は巻取り時の急冷により変形組織が残っており、硬度はいくぶんか増大する。このように、熱延温度により圧延材の機械的性質の均一性が異なってくる。Fig. 3はこの場合の熱延仕上げ温度と6スタンドミルで冷間圧延後の耳伸び形状との関係を示したものであ

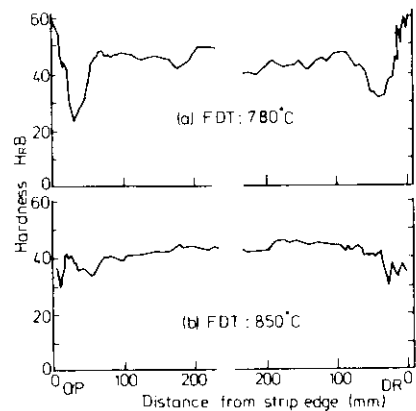


Fig. 2 Variation in hardness (H_RB) along hot rolled strip distance from edge for rimmed steel

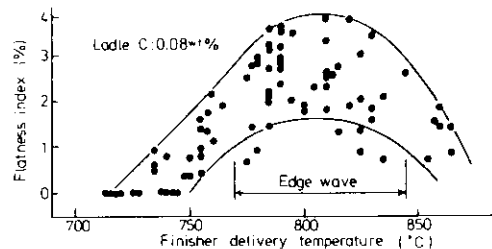


Fig. 3 Relation between the finisher delivery temperature in hot rolling and flatness index of edge wave for cold-rolled rimmed steel strips

る。耳伸び形状不良の領域は、リム層相当部が A_{35} 変態点以下で圧延され、硬度低下している場合に相当している。全幅にわたり変態点以上または変態点以下で圧延された場合は、前述のように機械的性質が均一化されるので、耳伸び形状は非常に改善される。このことはキャップド鋼材についても同じであり、熱延仕上温度により内部性状を均一化することにより、耳伸び形状を半減することが可能となる。

連続铸造材も含めてキルド鋼材はリム層がないので、内部性状は非常に均一化されており、冷延後の形状も比較的に良好となる。Fig. 4は熱延仕上温度が約 820°C と約 870°C の連続铸造材の幅端部近傍における硬度分布を示したものである。硬度の低下もなく、均一な分布になっている。しかし、硬度そのものはリムド鋼材より高く、熱延温度が約 820°C の場合は変形組織が残るため、 870°C の場合よりさらに高くなる。Fig. 5はこの場合の冷延後の形状を測定した例を示したものである。リムド鋼材と比べて耳伸び形状は非常に良好であることがわかる。 870°C では耳伸び形状を0%に制御することも可能であることを示している。中伸び形状はコイルの進行とともに悪化するが、これはロールのサーマルクラウンの成長によるものである。

次に母板プロフィールが冷延後の形状に及ぼす影響を示す。圧延材はキャップド鋼材を用い、4水準の板厚につき仕上温度を 860°C で熱間圧延することにより、母板クラウンを $0\sim 120\mu$ に仕上げた。これを4スタンドミルにて一定スケジュールのもとに冷間圧延した。Fig. 6に母板クラウンと冷延後の形状との関係を示す。母板クラウンは冷延後の形状にはほとんど影響がなく、薄物ほど耳伸び形状は不良になり、中伸び形状には有意差がない。しかしながら、大きな凸クラウンは通板時の絞り込みの原因となったり、凹クラウンは耳伸び形状になりやすいため、実操業では母板クラウンは $30\sim 60\mu$ が良いと考えられる。また、ハイスポットと呼ばれる局部リッジはこの部分が粗粒組織となり、局部伸びの原因となったり²⁾巻取り、焼鈍後の圧着や密着の原因になるので好ましくない。

母板形状は冷間圧延時の前段スタンドの段階で容易に修正されるため、冷延後の製品形状への影

響は小さい。これもむしろ絞り込みなど通板トラブルの原因となるので、操業条件から決定される適正領域内に収めておけばよい。

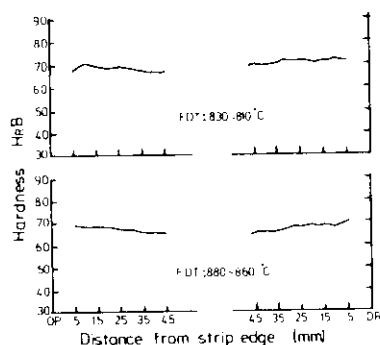


Fig. 4 Variation in hardness (HrB) along hot rolled strip distance from edge for continuously cast steel

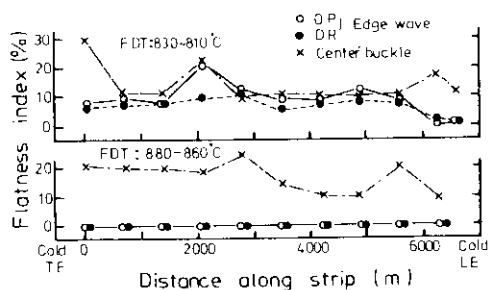


Fig. 5 Flatness index of cold rolled strip for continuously cast steel

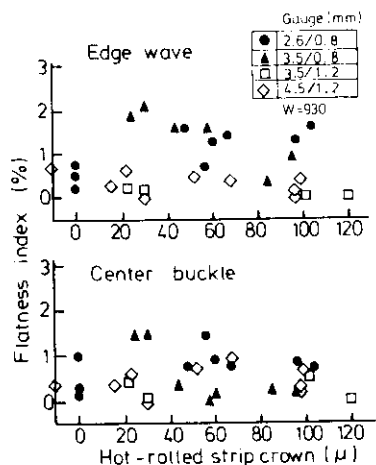


Fig. 6 Relation between crown of hot-rolled strip and flatness index of cold-rolled strip

2・1・2 冷延における制御要因の効果

冷延板の形状の制御要因としてはロールの初期キャンバー、入側、出側張力、圧延荷重およびロールベンダー力、ロールクーラント量が考えられている。また、スタンド別では最終スタンドにおける制御ほど製品形状に大きく影響する。

ロールキャンバーの形状への影響度は非常に大きい³⁾。初期キャンバーは圧延材の材質や制御の対象とする形状（たとえば、耳伸びや中伸び）により異なってくる。薄物メッキ原板を例にとると、圧延材の端部近傍部から作業ロールにテーパをつけた台形クラウンを使用すると、耳伸び形状が大幅に改善される。さらにエッジドロップも減少してくる。

4段圧延機においてはロールベンダーによる形状制御が一般的であるが、とくに薄物材においては内部性状が不均一な場合や圧延荷重が高い場合には能力的にほとんど効果がない¹⁾。内部性状を均一化させたキャップド鋼材を実機レバースミルにより30%圧下率で5パスにより0.4mmまで圧延した場合の各パスでのロールベンダーによる形状制御効果をFig. 7に示す。これから、ロールベンダーによる形状の制御は中伸び形状には効果はないが耳伸び形状には効果があり、これは後半パスほど大きい。ロールベンダーにより形状制御を行うには最終スタンドが望ましいことがわかる。また、張力によるベンダーの制御効果を示したものが、

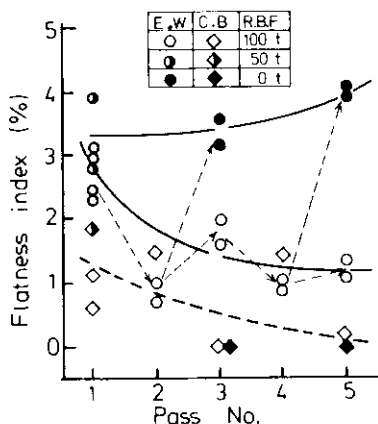


Fig. 7 Effect of roll bending force on flatness of cold-rolled strip at each rolling pass

Fig. 8である。これは最終パスでの入側張力を4水準変更して調べたものであり、張力が高くなると耳伸び形状に対するベンダーの制御効果は増大していくことがわかる。中伸び形状に対してはこの効果は認められない。

張力そのものについても、入側・出側張力ともに耳伸び形状には効果があるが、中伸び形状に対しては効果はない¹⁾。圧延荷重は、ロールの初期キャンバーの決定に関係するとともに、コイル内で大きく変動すると形状制御を難しくするので重要な要因である。

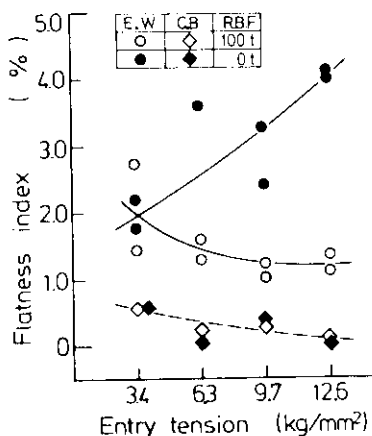


Fig. 8 Effect of entry tension at finish stand of 4-stand tandem mill on flatness of cold-rolled strip

2・2 プロフィール制御

クラウンやエッジドロップの形成機構は実機レバースミルにより検討を行い、圧下率配分などの圧延条件の影響や母板要因の影響は実機4スタンドミルにて検討した^{5,6)}。

2・2・1 冷延におけるプロフィールの形成機構

Fig. 9は幅方向位置における板クラウンの実測値 (C_{meas}) とクラウン比率が一定の条件による計算値 ($C_{\text{cal}} = C_H(1-r)$) との差を第1, 3, 5パスについて示したものである。圧延材は2.6mmから0.4mmまで5パスで圧延したものである。両者の差が零ならクラウン比率一定の条件で変形していることになる。第1パスでは50mm, 第3, 5パスでは30mmから内部ではほぼクラウン比率一定の条件で変形しており、ここでは幅方向へのメタ

ルフローが少く、熱延母板クラウンがもっとも支配的となる。それより端部では実測値のほうが大きく、これは冷間圧延時にメタルフローが発生していることを意味する。したがって、冷間圧延材のクラウンは熱延母板クラウンにより第一義的に決定され、エッジドロップは冷延条件により決定されることになる。

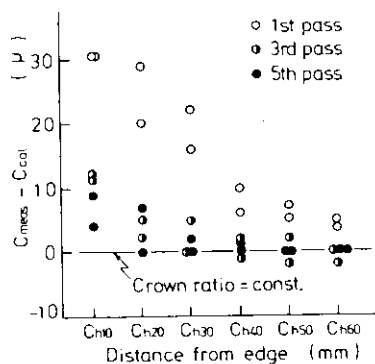


Fig. 9 Difference between measured crown (C_{meas}) and calculated crown (in proportion of crown ratio, $\dots C_{\text{cal}}$) along strip width

2・2・2 クラウン制御

Fig. 10は実機4スタンドミルにより仕上厚0.8mmと1.2mmに圧延したときの熱延母板のクラウン比 (H_{25}/H_C) と冷延板のクラウン比 (h_{20}/h_C) との関係を示したものである。これから、冷延板クラウンは母板クラウンにほぼ比例するようになり、母板クラウンにより第一義的に決まることがわかる。また、仕上厚が薄いほど、冷延総圧下率が低いほど冷延板のクラウンは小さくなる。さらに、 $H_{25}/H_C = 1$ に近いクラウンの小さな母板ほど冷延後はクラウン比率一定の条件より小さくなる。

その他、冷延時の圧下率配分を変更させても冷延板のクラウンを制御することは不可能であることが判明している⁵⁾。

2・2・3 エッジドロップ制御

前述のように、冷延板のエッジドロップは圧延時のメタルフローに影響されるため、冷延条件により改善できる。このメタルフローを支配する一要因が作業ロールの偏平変形である。Fig. 11は実機レバースミルにおいて、2.6mm厚の母板を10～

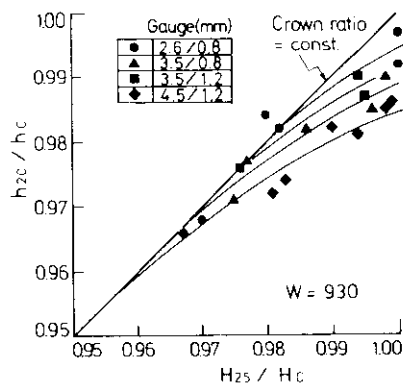


Fig. 10 Relation between crown ratio (h_{20}/h_C) after cold-rolling and crown ratio (H_{25}/H_C) after hot rolling

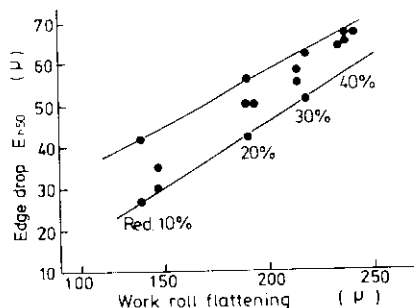


Fig. 11 Relation between work roll flattening and edge drops E_{h50} of cold rolled strips

40%の圧下率で圧延したときの作業ロールの偏平変形量と冷延後のエッジドロップとの関係を示したものである。偏平変形が大きくなるとエッジドロップは増大することがわかる。圧下率によるメタルフローの相違もあると考えられるが、これも作業ロールの偏平変形に影響されるので同じ傾向になる。Fig. 12は実機4スタンドミルにより圧下率配分を変化させ、2.8mmから0.8mm厚まで圧延した場合の後段2スタンドの合計圧下率と製品エッジドロップとの関係を示したものである。後段2スタンドの合計圧下率が低いほうが製品エッジドロップは改善される。このように、タンデム圧延においては後段スタンドの圧延条件が製品エッジドロップに大きな影響を及ぼすことがわかる。

その他、エッジドロップに影響する圧延要因として幅変化が挙げられる。すなわち、端部での幅広がりが多い場合にはエッジドロップも大きくなる⁶⁾。これから、スタンド間張力を高くするなど幅縮み圧延を行うことによりエッジドロップを減少させることも可能である。

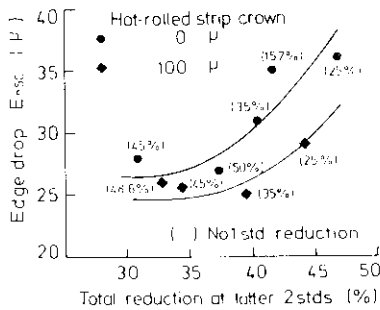


Fig.12 Influence of total reduction of latter 2 stands in 4 stand tandem mill on edge drops of cold-rolled strips

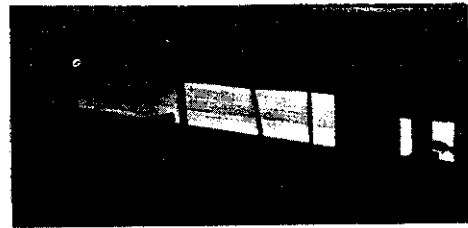
3. 熱間圧延における形状とプロフィールの制御

3.1 形状について

薄板の熱間圧延における形状の制御において大きな問題は熱履歴などによる形状の変化を正確に把握することである。Photo.1に示すように、最終スタンド出側、コイラー入側、完全冷却後など熱履歴により形状は変化する。仕上スタンドで形状制御を行うときに、完全冷却後に良好になるように出側形状を決定する必要がある。

圧延仕上り形状の制御は仕上最終スタンドで行われるのが一般的であり、作業ロールベンダーや後段スタンドとくに最終スタンドにおいてクラウン比率をほぼ一定にするような圧下率の適正化によって行われる。Fig.13は実機7スタンド仕上圧延機において幅960mm、板厚26mmを2.3mmまで圧延する場合に、おのこのスタンドだけのロールベンダーを0→100%に変更させたときの製品形状に及ぼすスタンド別のベンダー効果を理論計算した結果で、F7スタンドを基準に整理している。前述のとおり、後段スタンドとくに最終スタンドにおけるベンダーの形状制御効果が大きいことがわかる。

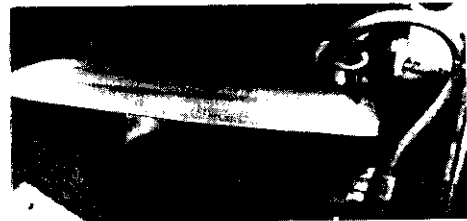
また、後述の圧下率配分変更によるクラウン制御法の実機圧延実験により、最終スタンドにおいて入出側のクラウン比率をほぼ等しく($C_h = C_H(1-r)$)すると形状は良好になり、 $C_h > C_H(1-r)$ では耳伸び形状、 $C_h < C_H(1-r)$ では中伸び形状になることが観察された。



Delivery at F7 std



Entry at coiler



Entry at skin pass mill

Photo.1 Change of hot rolled strip flatness with subsequent process

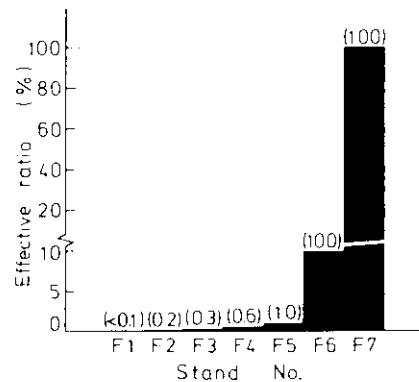


Fig.13 Effect of roll bending force at each finisher stand on flatness of hot rolled strip product

3.2 プロフィール制御

前述したとおり、冷間圧延材の形状やプロフイ

ルを制御するうえでも熱間圧延材のプロフィールを適正化することは重要である。ここでは、4段圧延機におけるロールの摩耗やサーマルクラウンの変化と圧延材のクラウンの変化およびクラウンの一定制御方法やエッジドロップの制御方法を述べる。

3・2・1 ロールの摩耗とサーマルクラウン

熱間仕上圧延における通常の圧延スケジュールは、板厚や温度制御に主眼がおかれ、基本的には前段スタンドで高圧下率、後段スタンドで低圧下率の配分になっている。このような圧下率配分のもとで作業ロールの摩耗、サーマルクラウンおよび圧延直後のロールプロフィールを実機7スタンド仕上圧延機により測定したF1(前段)、F4(中段)、F7(後段)スタンドの結果をFig.14に示す。圧延材は普通リムド鋼材を仕上厚3.2~2.6mmまで圧延した。圧延サイクルにおける幅構成は、900→1200→900mmに変化するスケジュールである。F1スタンドはアダマイトロールを使用しており、黒皮スケールが生成するためほとんど摩耗しない。ニッケルグレンロールを使用しているF4、F7スタンドでは圧延材の通過部だけが摩耗しており、ほぼ矩形形状分布になる。1サイクル(80コイル)圧延後の摩耗量はF4スタンドで約175 μ 、F7スタンドでは約150 μ になる。サーマルクラウンについては幅方向に放物線状に分布しており、1サイクル圧延後にはF1スタンドでは約275 μ 、F4スタンドでは約225 μ 、F7スタンドでは約150 μ になる。圧延直後の作業ロールプロフィールは圧延材の通過部で摩耗プロフィールのなかにサーマルクラウンによる凸クラウンがついた複合プロフィールになっている。したがって、圧延材のプロフィールはFig.15に示すように、凸プロフィールから徐々に矩形プロフィールに変化する。これから、サーマルクラウンは板端を除いた板プロフィール、すなわち板クラウンに大きく影響し、摩耗は板端部プロフィール、すなわちエッジドロップに大きく影響を及ぼすことがわかる。板クラウン C_{h25} は1サイクルで100 μ から20 μ 程度にまで変化している。

なお、ロールのサーマルクラウンを減少させ、しかも一定値に制御することは非常に困難であることが実機実験から判明している⁸⁾。

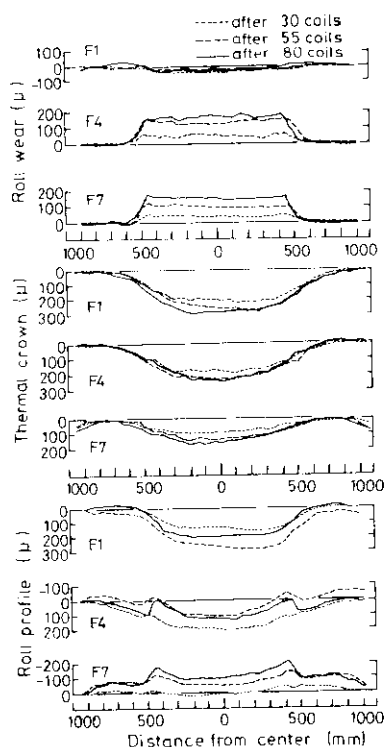


Fig.14 Growth of wears, thermal crowns and surface profiles of work rolls immediately after rolling in a hot rolling cycle

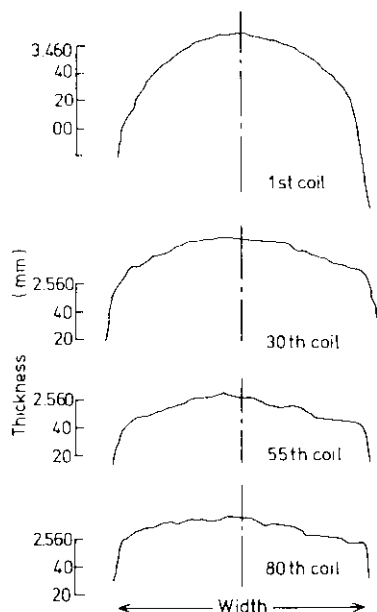


Fig.15 Change of strip profiles in a hot rolling cycle

3・2・2 クラウン制御

圧延材の形状制御も考慮し、クラウンを効果的に一定の適正值にする圧下率配分の変更による制御方法について、実機7スタンド仕上圧延機により検討した結果を述べる⁷⁾。これは、圧延材プロフィールが後段スタンドのメタルフローにより決定されることと、形状が最終スタンドの圧延条件により制御可能であることを同時に考慮し、ロールのサーマルクラウンの変化を補償するため、仕上スタンドにおける圧下率の配分を圧延の進行とともに変更する方法である。Table 1 に示すような3モードの圧下率区分、すなわちAモードは前段スタンドで高圧下率、後段スタンドで低圧下率に、BモードはF1～F6スタンドではほぼ等圧下率に、Cモードは前段スタンドで低圧下率、後段スタンドで高圧下率にした配分であり、3モードとも最終スタンドで出入側のクラウン比率をほぼ等しくなるようにしている。このような条件のもとで、幅900mm、板厚26mmから3.2mmに圧延した場合のスタンドごとの板クラウン C_{h25} について理論計算した結果をFig.16に示す。計算上のCモードとAモードの板クラウンの差は約55 μ であり、ロールのサーマルクラウンによる板クラウンの変化をほぼ補償することが可能であることを示している。最終スタンドではクラウン比率が等しい条件になっている。Fig.17 は Table 1 の圧下率配分のもとにサイクルの前半では幅925mmの圧延材をA、Bモードで、中盤では幅1215mmの圧延材をA、Bモードで、後半では幅925mmの圧延材をB、Cモードで実機7スタンド仕上圧延機により圧延した結果を示したものである。各モード間の圧延材

のクラウンの差は幅925mmの場合は約15 μ 、幅1215mmの場合は約25 μ となる。サイクル内で圧延の進行とともに圧下率配分をA→B→Cモードに変更していくことにより、クラウンを一定に制

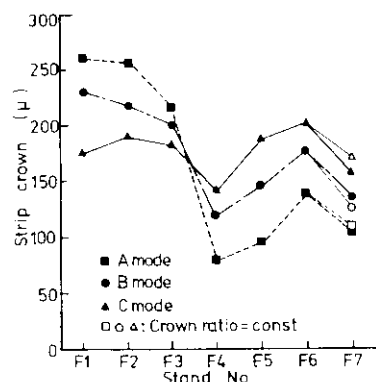


Fig.16 Calculated results of hot-rolled strip crown at each finisher stand due to change of rolling schedules

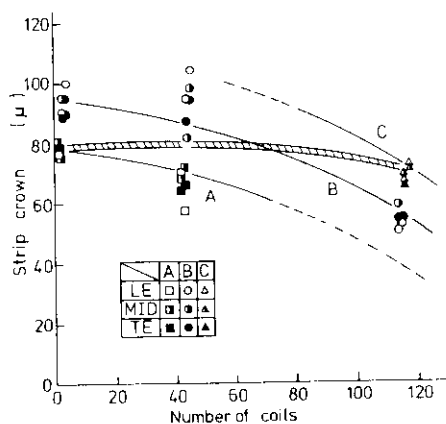


Fig.17 Comparison of hot rolled strip crowns due to change of rolling schedules

Table 1 Rolling schedules in order to control the crown and the flatness of hot-rolled strip (%)

Stand \ Mode	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	Note
A	36.3	34.9	32.0	23.3	21.7	21.2	10.7	Latter stands: Low reduction
B	29.7	28.3	30.0	23.7	28.4	27.2	14.7	Many stands: Equal reduction
C	20.5	23.7	27.9	31.8	32.3	27.0	17.3	Latter stands: High reduction

御することが可能である。クラウンを適正化するには作業ロールの初期キャンバーを凸クラウン傾向にすればよい。このとき圧延材の形状はPhoto.2に巻取り直前の例を示すように、各モードともほぼ良好である。Fig.18は前述の結果をもとに低炭リムド鋼材を1サイクル圧延したときの板クラウン C_{h25} の変化につき本圧延法と従来圧延法とを比較して示したものである。従来法では $100 \rightarrow 20 \mu$ に変化しているが、本圧延法では $60 \rightarrow 30 \mu$ の変化であり、これは目標とするクラウンを十分に満足するものである。モードの変更時にクラウン変化が大きくなる場合には、モード変更を多くすればよい。

このように、熱間仕上圧延機内における圧下率配分を徐々に変更していくことにより、ロールサーマルクラウンの変化を補償し、圧延材のクラウンを一定の適正值に制御するとともに、形状制御も同時に可能とする技術を開発した。



Photo.2 Observation of hot rolled strip flatness (before coiling) on each schedule shown in Table 1

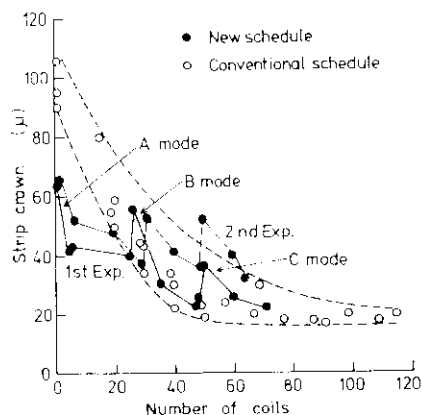


Fig.18 Effect of new rolling schedule on hot-rolled strip crown

3・2・3 エッジドロップ制御

冷延鋼板の耳伸び形状の改善に台形クラウンロールを使用することが有効であることを述べたが、熱間圧延では後段スタンドでもメタルフローが十分に起こりうるので、エッジドロップの制御も可能となる。Fig.19は台形クラウン付作業ロールの組み込み図および作業ロールと補強ロール間の接触荷重 p と作業ロールと圧延材間の接触荷重 q の分布を理論計算し、通常フラットロールと比較

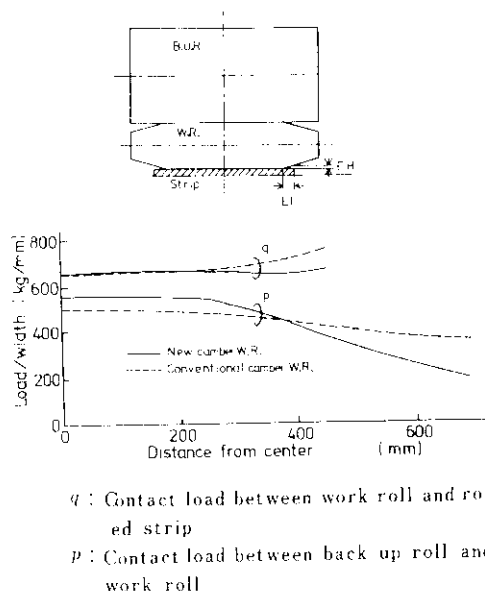


Fig.19 Schematic diagram of new trapezoid cambered work roll and distribution of contact load per width

して示したものである。計算条件は有効クラウン (EH) = 50μ 、有効長さ (EL) = 200mm の場合で、幅 920mm の圧延材を $4.6 \rightarrow 3.8\text{mm}$ 厚に圧延した場合である。台形クラウンロールを使用した場合は、作業ロールに不必要な曲げモーメントを作用させるロール端部の接触荷重 p が減少し、接触荷重 q も均一化するので軸心撓み変形量は小さく、板幅端相当部の偏平変形の変化はテーパ部で相殺されるので、作業ロールの表面プロファイルは均一化される。その結果、エッジドロップは大幅に減少することになる。Fig. 20 は有効長さ $EL = 200\text{mm}$ とした場合の有効クラウン EH がエッジドロップ E_{h100} とクラウン C_{h50} に及ぼす影響を、Fig. 21 は有効クラウン $EH = 50\mu$ とした場合の有効長さ EL が

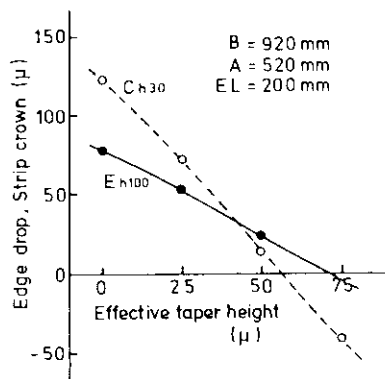


Fig. 20 Calculated results of effective taper height (EH) dependence on edge drop and crown of hot rolled strip

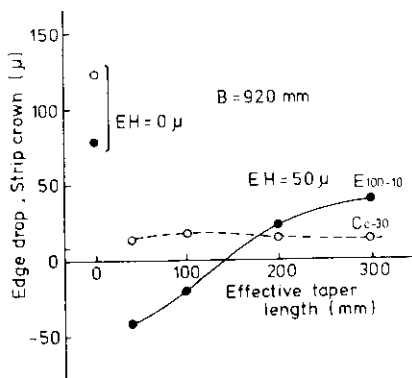


Fig. 21 Calculated results of effective taper length (EL) dependence on edge drop and crown of hot-rolled strip

エッジドロップ E_{h100} とクラウン C_{h50} に及ぼす影響を理論検討した結果である。EH が大きくなるとエッジドロップとクラウンはほぼ直線的に減少し、EL が大きくなるとクラウンは一定でエッジドロップが増大することがわかる。

Fig. 22 は実機 6 スタンド仕上圧延機の最終スタンドに台形クラウンロールを組み込み、低炭リムド鋼材を圧延した場合のサイクル内のエッジドロップの変化を従来法と比較して示したものである。従来法では、圧延初期に $100 \sim 120\mu$ になるエッジドロップが本圧延法では $40 \sim 60\mu$ と半減している。実操業では最終スタンドにおいて形状制御を行う必要があるため、F4, 5 スタンドに台形クラウンロールを組み込み、エッジドロップが大きい高炭素鋼のような変形抵抗が高い材料をおもな対象としている。この場合エッジドロップがとくに大きくなる圧延サイクルの初期の材料に対して最適となるよう有効クラウン EH、有効長さ EL を決定している。

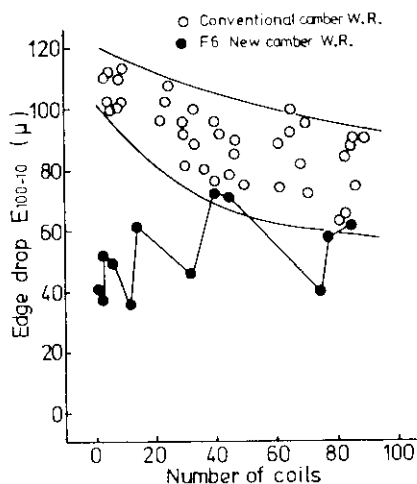


Fig. 22 Effect of new trapezoid cambered work rolls on edge drop of hot rolled strip

4. 結 言

薄板の冷間圧延や熱間圧延における形状およびプロファイルの制御について、既設の 4 段式圧延機を対象に実機実験、理論計算による検討結果およびこれから開発された技術をまとめた。以上の結果から、次の事項が結論づけられる。

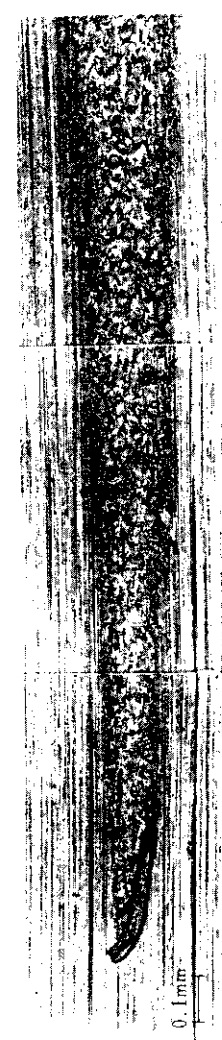
- (1) 冷間圧延材の形状にもっとも大きく影響するのは熱延母板の内部性状の均一性である。ついで冷間圧延における作業ロールの初期キャンバーの最適化が重要である。これらにより圧延材の形状をできるかぎり改善したうえで、ロールベンダー、クーラント、張力などにより制御することになる。
- (2) 冷間圧延材のプロフィールは、冷間圧延時にメタルフローが幅端部数10mmしか起こらないため、クラウンは熱延母板クラウンに比例し、第一義的に決定される。エッジドロップは制御可能で、後段スタンドにおいてロール偏平変形を小さくするように低下率で圧延すると改善される。
- (3) 熱間圧延材の形状は最終1～2スタンドだけで制御することが可能であるが、後工程での熱履歴により変化するので、これを考慮した適正形状になるよう制御する必要がある。
- (4) 熱間圧延材のクラウンは圧延サイクルの進行に応じて低下率配分を変更していくことによりロールのサーマルクラウンの変化を補償し、一定の適正值に制御することが可能である。この場合、最終スタンドでは入出側のクラウン比率をほぼ等しくすると、形状も同時に制御することができる。
- (5) 熱間圧延材のエッジドロップを減少させるには作業ロールを台形クラウンにすることにより可能であり、実操業では最終スタンドの1～2スタンド前で使用し、形状は最終スタンドをクラウン比率がほぼ等しい低下条件で圧延することで制御することができる。
- なお、本研究を進めるにあたって、千葉製鉄所熱延部、冷延部、管理部の協力を得た。

参考文献

- 1) 久々湊、鎌田、田中、善本：川崎製鉄技報，5 (1973) 4, 61
- 2) W.F.Gilbertson：JISI, 203 (1965) 6, 553
- 3) 鎌田：第52回塑性加工シンポジウムテキスト，(1975)，32
- 4) 古川、栗原、柳島、鎌田、中川：鉄と鋼，64 (1978) 11, S703
- 5) 鎌田、北村、中川、高崎、松田：鉄と鋼，63 (1977) 11, S668
- 6) 高崎、松田、青木、鎌田、北村：鉄と鋼，63 (1977) 11, S669
- 7) 鎌田、玉井、北村、福島、片岡、君嶋、中川：昭和53年塑性加工春季講演会講演論文集，(1978)，41
- 8) 北村、鎌田、中川、玉井、相原、福島：鉄と鋼，62 (1976) 11, S40
- 9) 足立、豊島、福島、浅川、北村、鎌田、片岡、中川：昭和53年塑性加工春季講演会講演論文集，(1978)，45



上ロールのヒートストローク



下ロールのヒートストローク 通常とは延向きにロールを経込んだ場合

上端・研削方向

冷間圧延ワークロール表面に発生したヒートストローク

先端は研削スクラッチであり、以後は圧延材がロールに焼付いている。