

討16 珪素鋼板のテーパ付ワークロール圧延によるエッジドロップの改善

川崎製鉄(株)技術研究所 ○北村邦雄, 山下道雄

千葉製鉄所 高橋保男, 山田恭裕

阪神製造所 港 武彦, 水島製鉄所 中西敏修

1. 緒言

珪素鋼板は積層して使用されるために、板厚精度に対する要求には厳しいものがあり、圧延方向の板厚偏差だけでなく板幅方向の板厚偏差(クラウン)も小さくする必要がある。近年、クラウン制御能力の大きな圧延機が開発されているが、既設の圧延機に適用するには困難であるものもある。

本報では、既設の4段圧延機にも簡便に適用ができ、特に板幅端部の板厚偏差(エッジドロップ)を減少する効果の大きいテーパ付ワークロールを熱間圧延および冷間圧延に適用したので以下に述べる。

2. 冷延板のクラウン形成機構

珪素鋼板を5スタンドタンデムミルにおいて冷間圧延した場合の熱延板のクラウン C_{H25} と冷延板のクラウン C_{h20} の関係を Fig. 1 に示す。母板厚は 2.3, 2.6 mm, 仕上厚は 0.5 mm である。以下たとえば C_{H25} は中央の板厚と板端部 25 mm の位置の板厚との差 ($H_c - H_{25}$) を意味し、両側の平均値をとっている。H は熱延板, h は冷延板の板厚を示す。

Fig. 1 より冷延板のクラウンを小さくするためには、熱延板のクラウンを小さくしなければならないことがわかる。また熱延板のクラウンを小さくした場合、実測した冷延板のクラウンはクラウン比率一定の関係 ($C_{h20} = C_{H25} \cdot hc/Hc$) より計算された値よりも大きくなっており、冷間圧延においてもクラウンの抑制が必要になってくることを示している。

Fig. 2 は冷間圧延を行なった場合のそれぞれの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から計算した値 $C_{cal} = C_H(1-r)$ との差を第1, 3, 5パスについて示したものである。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。尚圧延材は 2.6 mm から 0.4 mm までレバースミルで5パス圧延したものである。第1パスでは板端より 50 mm 以上、第2, 第3パスでは 30 mm 以上ではほぼクラウン比率一定の条件で変形しており、メタルフローが少なく、熱延板クラウンが支配的となっている。上記の値より板端側では実測値の方が計算値よりも大きく、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している。したがって冷延板のエッジドロップは冷間圧延条件により改善できることがわかる。

そこで、熱延板および冷延板の主としてエッジドロップを改善してクラウンを小さくするためにワークロール(WR)の両端部にテーパを付けたテーパ付WRを熱間仕上圧延機、および冷間圧延機に適用した。

3. 熱間圧延におけるテーパ付ワークロールの適用

テーパ付ワークロールを4段圧延機の上ロールに組み入れた場合の状態を Fig. 3 に示す。板端におけるテーパ量を E_H , テーパの長さを E_L , フラット部の長さを A として示している。テーパ付WRは必ずしも上, 下両方に組み込む必要はなく、通板性, ロール研磨時間, 製品表面品質により一方にのみ組

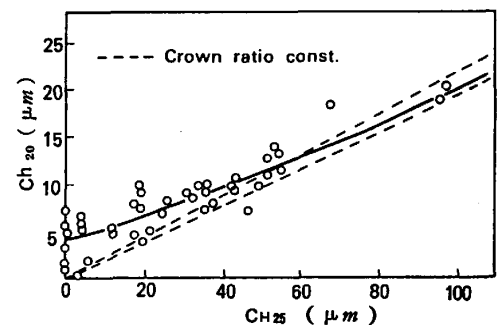


Fig. 1 Relation between hot-rolled strip crown C_{H25} and cold-rolled strip crown C_{h20} .

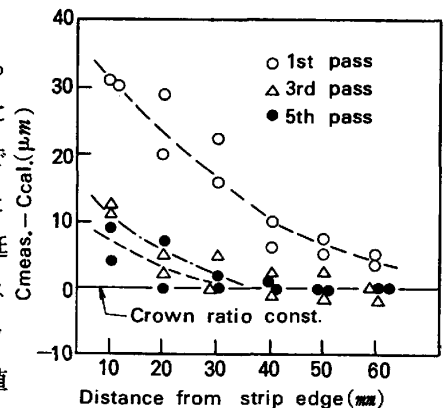


Fig. 2 Difference between measured crown (C_{meas}) and calculated crown (C_{cal}) along strip width.

み込んで良い。

3.1 分割モデルによる解析

通常のクラウンWRとテーパ付WRのそれぞれについて、仕上後段スタンドの条件で計算を行なった場合の扁平変形量、軸心たわみ量、およびロールプロフィールをFig. 4に示す。テーパ付WRは上、下ロールともに $A=520\text{ mm}$ 、 $EL=200\text{ mm}$ 、 $EH=50\text{ }\mu\text{m}$ であり、通常クラウンWRとしてはフラットWRを用いた。本解析では圧延材は2次元変形するものと仮定している。テーパ付WRを使用した場合はWRに不必要な曲げモーメント作用させているロール端部の接触荷重が減少するために軸心たわみ変形は小さく、また板幅端部の大きな扁平変形量の変化は、WRのテーパで相殺されるので、WRの表面プロフィールは均一化される。その結果、エッジドロップは非常に減少することになる。

3.2 熱間圧延の結果

実機6スタンド仕上圧延機の最終スタンドにテーパWRを組み込んだ場合のサイクル内のエッジドロップとクラウンの変化を従来法と比較してFig. 5, Fig. 6に示す。板幅は 955 mm から 740 mm 、板厚は 4.5 mm から 2.0 mm であり、テーパ付WRは最大板幅に対して EL を 200 mm 、 EH を $60\text{ }\mu\text{m}$ とし、上、下のWRに使用した。

従来法のエッジドロップは圧延初期に $100\sim 120\text{ }\mu\text{m}$ と大きいですが、テーパ付WRでは $40\sim 60\text{ }\mu\text{m}$ と半減している。また、クラウンも大幅に改善されていることがわかる。しかしながら最終スタンドにのみテーパ付WRを使用したために大きな腹伸び形状となった。そこでクラウン、エッジドロップの改善効果を損わずに形状の適正化を計るために、最終スタンドは通常ロールとし、その前の2~3スタンドをテーパ付WRとした。

実機7スタンド仕上圧延機のF5, F6スタンドの下WRにテーパ付WRを組み込んで珪素鋼を圧延した場合のクラウンの変化をFig. 7に示す。テーパ付WRは $A=700\text{ mm}$ 、 $EL=200\text{ mm}$ (最大幅)、 $EH=80\text{ }\mu\text{m}$ (F5)、 $60\text{ }\mu\text{m}$ (F6)である。通常のクラウンWRを使用した場合のクラウンは、 $70\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ であるが、テーパ付WRをF5, F6スタンドに使用することによりクラウンは $40\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ と $30\sim 60\text{ }\mu\text{m}$ 程度も改善さ

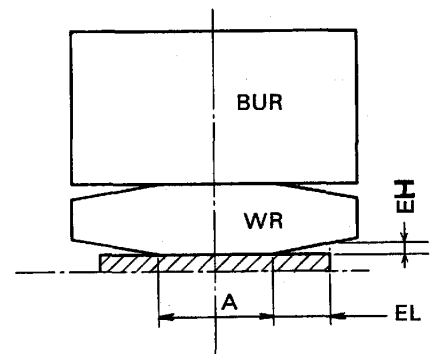


Fig. 3 Schematic diagram of tapered work roll.

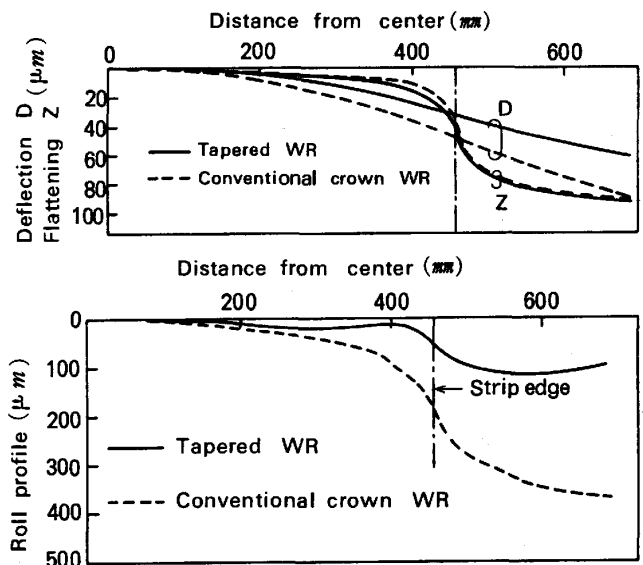


Fig. 4 Effect of tapered work roll on deflection, flattening and roll profile.

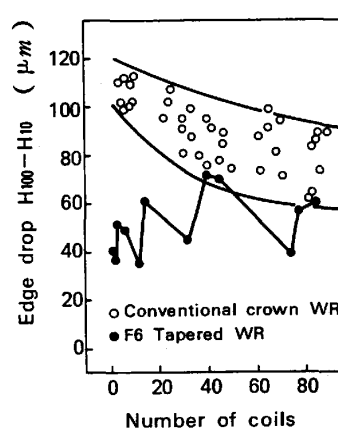


Fig. 5 Effect of tapered work roll on edge drop of hot-rolled strip.

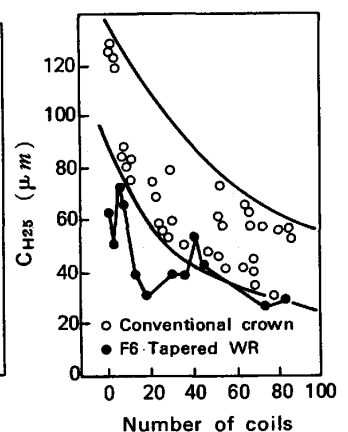


Fig. 6 Effect of tapered work roll on hot-rolled strip crown.

れている。しかも最終スタンドを除く後段2スタンドにテーパ付WRを使用したことにより形状も良好となった。

4. 冷間圧延におけるテーパ付ワークロールの適用

4.1 エッジドロップの解析

冷間圧延におけるエッジドロップの挙動を戸沢ら⁷⁾の三次元解析を簡略化して検討した。主な相違点は①分割は幅方向のみとした。②圧延荷重はHillの修正式を用いた。③摩擦力の方向は平均相対変化より求めた。④ロール扁平変形のみを考慮し、たわみ変形は無視した。などである。

Fig. 8にフラットロールの場合の本解析方法と平面ひずみを仮定した二次元解析法の結果を示す。本解析結果は二次元解析結果と比較して以下の特徴を有する。板厚分布に明確なエッジドロップの開始点が存在し、また板端に近くに従って急激に板厚が減少する。張力分布は幅中央から板端に行くに従って、一度低下した後、板端部で急激に増大する。単位幅圧延荷重にピークが存在し、また板端部で急減する。幅広がりには板端で急増しておりこの結果は、Fig. 2に示した実験結果と傾向は同じである。Fig. 9にエッジドロップを制御するために、テーパ付ワークロールと通常のクラウンWRをそれぞれ用いた場合のフラットロールと比較してのエッジドロップの改善量、張力偏差と板厚分布を示す。計算条件はFig. 8の圧延条件と同一である。ロールプロフィールは板端部でEH=20 μ mである。テーパ付WRの場合はEL=100mm, クラウンWRの場合は2次曲線としている。

テーパ付WRではフラットWRに比べてエッジドロップが大幅に改善されており、その改善量はロールプロフィールにほぼ対応している。一方、クラウンWRでは、エッジドロップの発生している板端側でのみエッジドロップが改善されているが、その改善量はテーパ付WRよりも小さくローブプロフィールとの対応はあまりない。また、張力偏差を比較すると板端部の最大値には両者の差はないが、幅中央部の張力低下はクラウンWRの方が大きく、腹伸び形状がより著しくなることを示している。このことからテーパ付WRの方が形状からの制約が少なく、エッジドロップを効果的に改善できる。

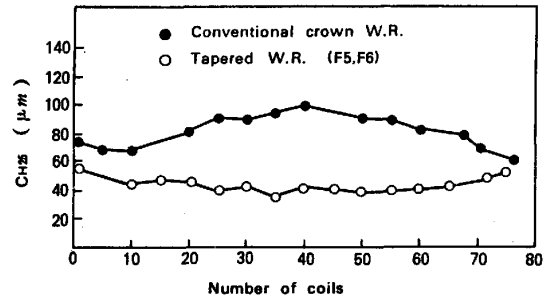


Fig. 7 Effect of tapered work roll (F5 and F6) on hot-rolled strip crown.

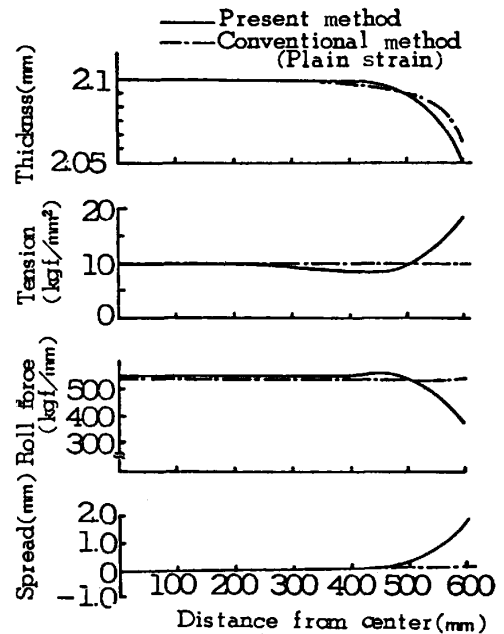


Fig. 8 Result of Flat Rolling.
Thickness 3mm Width 1200mm Reduction 30%
Roll dia. 500mm Flow stress 40kg/mm²
Coefficient of friction 0.03

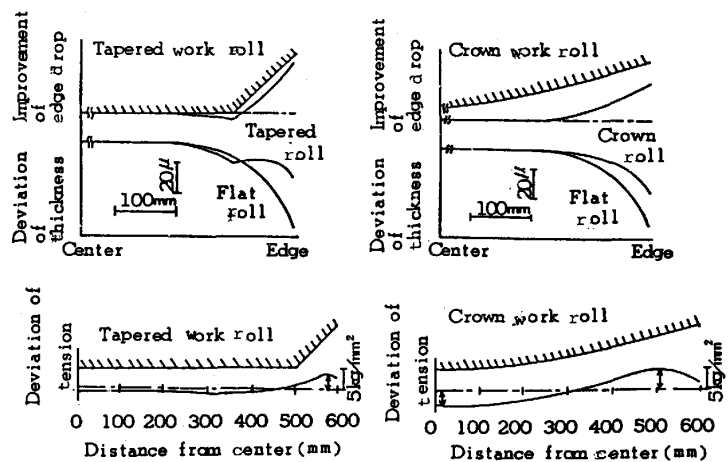


Fig. 9 Effect of tapered work roll on edge drop, thickness and tension.

4.2 冷間圧延結果

ゼンジミアミルではリバース圧延を行なっているために1組のテーパ付WRで多パス圧延ができ、また、WRの交換も容易である。そこでテーパ付WRを上下のWRに組み込み、母板厚2.0mm、仕上厚0.5mm、板幅1025mmの珪素鋼板を4パスで圧延して、EHとELの影響を調べた。ロール径は77mmである。Fig. 10よりELを22mmとして、EHを15、30μmと増大させることによりエッジドロップが減少していくことがわかる。これ以上にするとエッジビルドアップになる恐れがあるので、EHは30μm程度が適当である。一方EHを30μmとしてELを変化させた場合にはELをあまり大きくしてもエッジドロップの改善効果がなくなることがわかった。

タンデムミルでのテーパ付WRの組み込みスタンドは、板厚が厚いほどエッジドロップが内側から発生すること、張力が低いほどエッジドロップが大きいこと、形状や表面品質が悪化しないこと等を考慮して、#1スタンドの上下FWRに入れた。A=1000mm、EL=42mm、EH=47μmである。圧延材は母板厚2.6mm、仕上厚0.5mm、板幅1084mmである。Fig. 11に示すように、エッジドロップは冷間圧延でテーパ付WRを使用した場合に最も小さくなっており、エッジドロップの改善効果が大きい。

Fig. 12にはかみ止めにより測定した各スタンドのエッジドロップ比率を示す。#1スタンドのテーパはA=900mm、EL=25mm、EH=15μmである。#2~#4スタンドのテーパは圧延材の板端よりも外側に切っている。圧延材は母板厚2.3mm、仕上厚0.5mm、板幅950mmである。#1スタンドテーパ付WRによりエッジドロップは減少し、さらに#2~#4スタンドにテーパ付WRを使用することによりエッジドロップを抑制できることを示している。

5. 結 言

テーパ付ワークロールを熱間圧延および冷間圧延に適用することにより珪素鋼板のエッジドロップが改善できることを示した。

文 献

- 1) 北浜正法ら： 塑性と加工，23-263(1982)，1165
- 2) 中島浩衛ら： 同上，23-263(1982)，1172
- 3) 日野裕之ら： 第33回塑加連講論 (1982)，419
- 4) 鎌田征雄ら： 川崎製鉄技報11-1(1979)，78
- 5) 山下道雄ら： 鉄と鋼 69-5(1983)，S443
- 6) 小野弘路ら： 同上 69-5(1983)，S444
- 7) 石川孝司ら： 塑性と加工 21-237(1980)，902

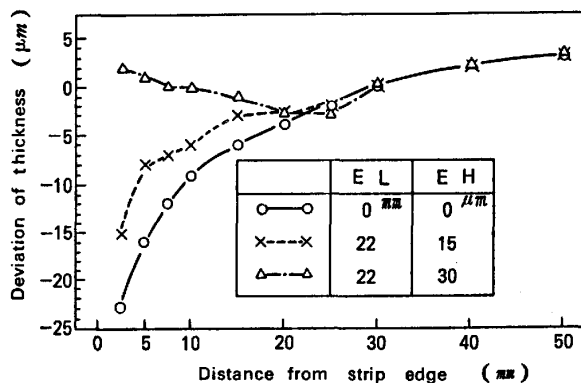


Fig. 10 Effect of EH on edge drop.

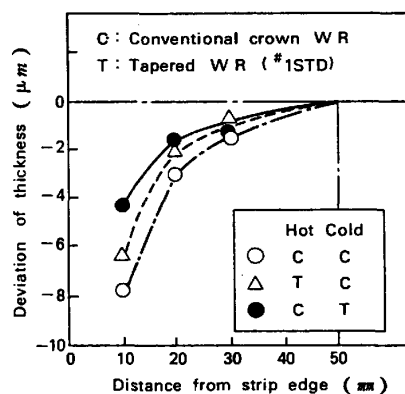


Fig. 11 Effect of tapered work roll on edge drop.

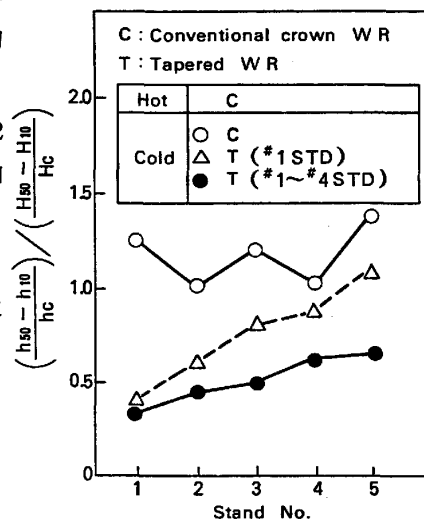


Fig. 12 Effect of tapered work roll on edge drop ratio.