

## 討21 ホットストリップミル粗圧延における幅変形挙動

神鋼 加古川 ○井端治広, 水田篤男, (工博)小久保一郎

### 1. 緒言

ホットストリップの板幅変動は、スラブ要因、粗圧延要因、仕上圧延要因、コイラー要因など多くの原因によって発生することが知られている。その中で粗圧延に起因する幅変動は、エッジング圧延（縦ロール圧延）と水平圧延の組み合わせにより発生し、板幅ネッキングと呼ばれるコイル先後端の急峻な幅狭まりとして現れる。従って、縦ロールによる板幅制御を行なう上で、粗圧延におけるスラブの幅変形挙動を明確にしておくことが重要である。

本報告では、エッジング圧延と水平圧延によるスラブ変形の特徴について述べ、そこから導き出される粗ミル形式による得失、エッジングパススケジュールの考え方、テーパスラブ圧延法について言及する。

### 2. エッジング圧延時のスラブ変形

#### 2.1. ドッグボーン

エッジング圧延では、板幅に比べ幅圧下量が非常に小さいので塑性変形が板端部にのみ集中し、未変形部により伸びが拘束されるためドッグボーンと呼ばれる板端部での板厚増加を生じる（図1）。ドッグボーンは定常部においてスラブサイズと幅圧下量に応じて一定の大きさとなり、先後端非定常部ではスラブ先後端に向かう程急速に小さくなるような分布を示す（図2）。

自由端である最先後端部では、ロール近傍の塑性変形部が延伸するためドッグボーンの発達は見られない。

#### 2.2. 先端幅ひけ

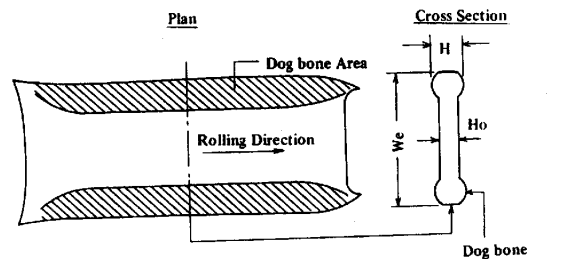
最先端部では、幅中央部非変形部の拘束作用により変形部に剪断力による曲げモーメントが発生し、最小ロールギャップに到達する以前に材料がロールより離れるためロール閉度より幅狭と化する<sup>1),2)</sup>。この幅ひけ量は、エッジング量の増加につれて増大する（図3）。

### 3. 水平圧延時のスラブ変形

#### 3.1. 幅広がり

一般に、スラブ等の板幅板厚比の大きい板材の水平圧延による幅広がり小さい。

しかし、エッジング圧延後のドッグボーンを有するスラブの幅広がり、ドッグボーン大きさに応じて直線的に増大するため（図4）、エッジング圧延による幅圧



We : Width after edger rolling

Fig. 1. Plan and cross-sectional shape of a plasticine slab after edging.

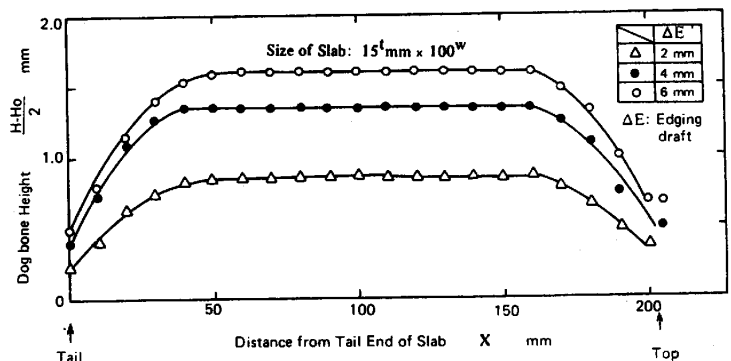


Fig. 2. Distribution of dog-bone height along the rolling direction after edging.

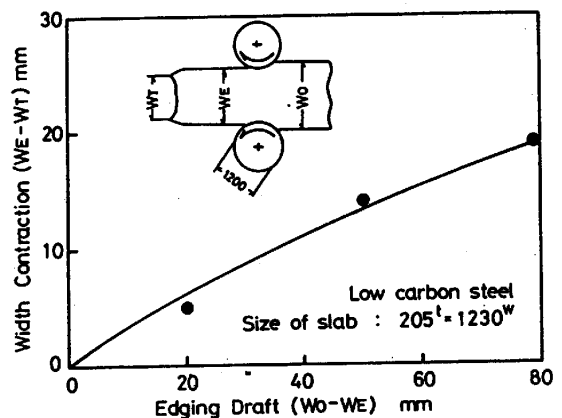


Fig. 3 Relationship between edging draft and width contraction after edging.

下の効果を相当量相殺する。

また、ドッグボーン分布による幅広がり差によって水平圧延後の板幅が不均一となり、先後端部に板幅ネッキングと呼ばれる幅狭部が形成される(図5(c), (d))。

板幅ネッキングは、前述のエッジング圧延時の先端幅ひけの存在により、後端側より先端側の方が大きくなる。

### 3.2. フレア

エッジング圧延が無い場合、スラブ先後端ではフレアと呼ばれる三次元変形による大きな幅広がりが見られる(図5(a))。

フレアは、板厚、圧下率の増加につれて大きくなるが、板幅の影響は認め難い。また、先端よりも後端の方が大きい傾向を示すが、これは先端フレアの発達にロール入側板幅の拘束を受けているのに対し、後端フレアの発達はロール出側板幅の拘束を受けるので後端側の方が幅広がり容易であるためと考えられる。

フレアは、板幅ネッキングを緩和する方向に働き、エッジング量が小さい場合、見かけ上板幅ネッキングが観察されない(図5(b))。また逆に、エッジング量が非常に大きい場合、見かけ上フレアが観察される。

### 4. 板幅ネッキングに及ぼす圧延条件の影響

基本的には、エッジング量が大きい程、板幅が広い程あるいは板厚が薄い程、板幅ネッキングが大きくなると思えて良い(図6)。

エッジング量が大きい時、エッジング圧延時の先端幅ひけとドッグボーン分布の不均一性が大きくなるためネッキングが大きくなることは明らかである。

板幅と板厚の影響は、スラブの三次元変形の容易さに関係があり、板幅が広い程あるいは板厚が薄い程、

即ち板幅板厚比が大きい程、エッジング圧延時の変形が板幅中央部まで浸透し難く、幅広がり易いドッグボーンを形成する。このためドッグボーン分布の不均一に起因する板幅ネッキングが大きくなる。また、板厚が薄くなる程、フレアが小さくなり、板幅ネッキングは大きくなる。

水平圧下率が小さい場合にもフレアが小さくなるので、板幅ネッキングは大きくなる。

以上述べたように、板幅ネッキングは、エッジング圧延時の先端幅ひけ、ドッグボーン分布不均一による先後端幅ひけ、およびフレア変形の重ね合わせにより、その大きさと発生位置が決まる。

### 5. 粗ミル形式と板幅ネッキング

前述の粗圧延におけるスラブの変形挙動から、圧延方向が一方向となるような全連続式ミルは、板幅

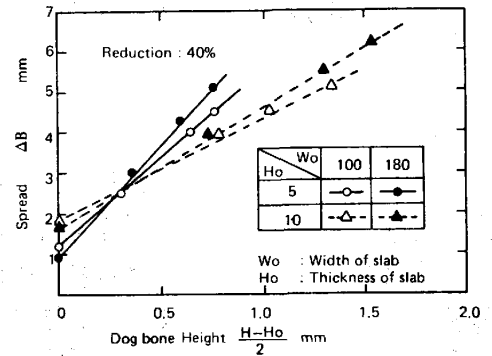


Fig. 4. Relationship between dog-bone height and spread.

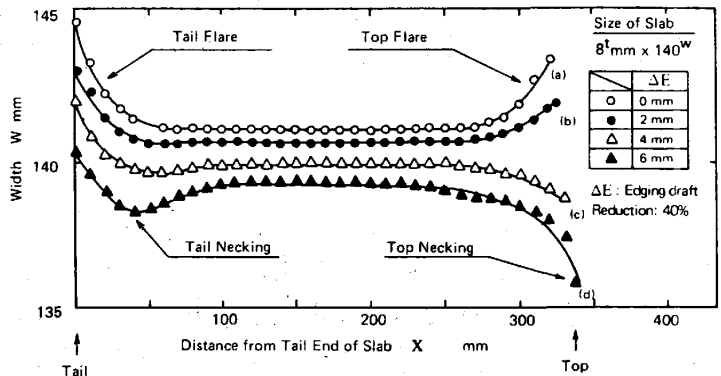


Fig. 5. Distribution of width along the rolling direction after flat rolling.

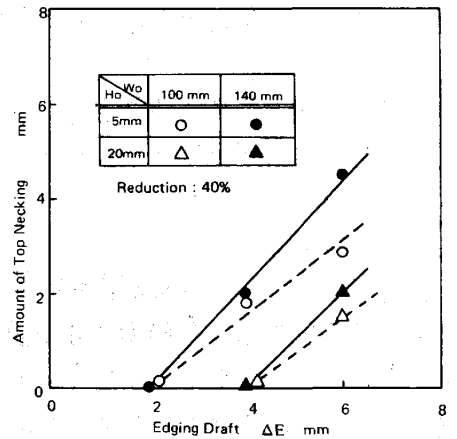


Fig. 6. Relationship between edging draft and the amount of necking.

ネックングの面からは不利であると考えられる。

モデルテストによる全連続式ミルとスリーフォータ式ミルの比較の結果、前者は後端ネックングこそ若干小さいが、先端ネックングが非常に大きく発達することがわかった(図7)。

実際、実機全連続式ミルの先端ネックングは、リバー式ミルのそれに比べ、著しく大きい(図8)。

この問題の解決のためには、VSBをリバー式化し、リバー式時の幅圧下量を大きくとることによって、前後端ネックング量のバランスを改善することが良策であると考えられる<sup>4)</sup>。

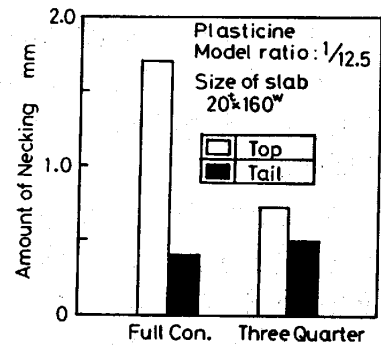


Fig. 7. Comparison of the amount of necking for two types of rougher mill (model).

6. 粗圧延エッジパススケジュールと板幅ネックング

既に $\Delta W_1$ の板幅変動を有する圧延材をロール開度一定でエッジング圧延を行なう場合、水平圧延後の板幅変動 $\Delta W_2$ と $\Delta W_1$ の間には、

$$\frac{\Delta W_2}{\Delta W_1} = \alpha \quad (\alpha < 1, \alpha: \text{幅戻り係数}^5)$$

なる関係が成立し、板幅変動が小さくなる。

従って、板幅変動を小さくし精度の良い板幅制御を行なうためには、原則として、水平圧延回数に見合う範囲内で可能な限りエッジング圧延パス回数を多くする方が良い。

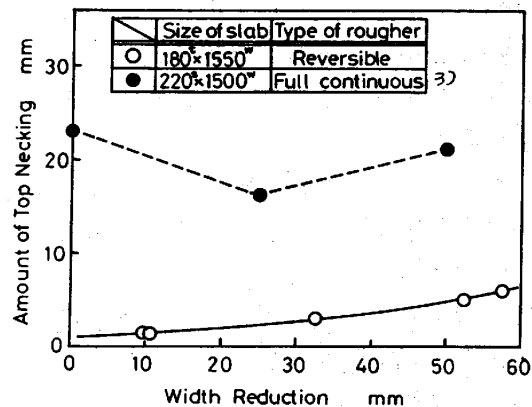


Fig. 8. Comparison of the amount of top necking for two types of rougher mill (actual mill).

一方、板幅が広くなる程、また板厚が薄くなる程、前述のように板幅ネックングが大きくなり易いばかりでなく幅戻り係数 $\alpha$ が1に近づき、幅調整効率が悪くなる。従って、エッジングの圧下配分としては、前段のエッジング圧下量を大きくする方が、幅調整効率と板幅ネックングの両面から有利であると言える。但し、初期に形成される板幅ネックングが大きくなる程、後続パスのエッジング量を大きくしなると板幅変動を小さくできないため、後段エッジングの圧下量が極端に小さくならないよう注意しなければならぬ。

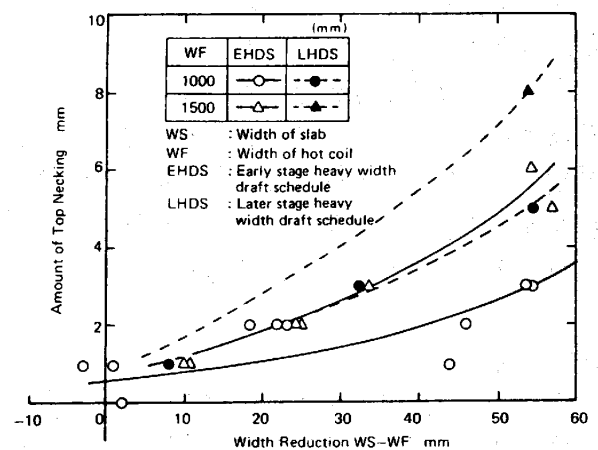


Fig. 9. Relationship between width reduction and the amount of top necking (actual mill).

このようなエッジングパススケジュールを前段強圧

下型エッジングパススケジュール (Early Stage Heavy Width Draft Schedule) と呼び、モデルテスト及び実機テストによりその結果を確認した<sup>6)</sup> (図9)。

ところで、昨今の大幅圧下の要求に対しては、エッジングパススケジュールの最適化のみでは板幅変動を許容範囲内に収めることが困難となっており、自動板幅制御 (Automatic Width Control) の導入が進展している。しかし、その場合にもAWCの制御範囲を有効に活用する上で、エッジングパススケジュールの最適化を同時に行なうことが重要であると言える。

### 7. テーパスラブの幅変形挙動

ホットストリップミルに連鋸スラブを供給する場合、要求される多種類のスラブ幅をいかに作り分けるかという問題がある。

ひとつの方法は、広幅大断面で鋳造を行ない連鋸の生産性を追求する一方、大幅圧下ヤスラブ縦切断により連鋸の後後程に任意のスラブ幅に調整する方法である。

いまひとつは、鋳造中の幅変更により所望のスラブ幅を作り分ける方法であり、連鋸の生産性は犠牲となるが、エネルギー的にロスが少なく、設備投資が少ない利点を持つ。但し、品種構成によっては大量のテーパスラブが発生するため、その幅変形挙動を明確にする必要がある。

テーパスラブの幅変動を小さくするためには、エッジヤパススケジュールの考え方と同様に、幅戻り係数の小さいパス前段での幅強圧下が有効である。また、幅広部分の材料を圧延長手方向へ分配する程幅変動が小さくなるので、幅調整量を大きくとる程ラフバーでの残留テーパは直線的に減少する(図10)。しかし、幅強圧下により板幅ネッキングも増大するので、初期テーパ量とスラブサイズに応じて、板幅変動を最小とする最適幅圧下量が存在することになる(図10)。

テーパスラブの圧延方向は、幅広側を先端とする方が残留テーパ、ワロップロスの両面で有利となる(図11, 図12)。これは、後端よりも先端の方が板幅ネッキングが大きいこと、およびエッジング圧延での材料流れがより多く後端へ向かうことによるものと考えられる。

### 8. 結言

エッジング圧延と水平圧延によるホットストリップミル粗圧延におけるスラブ変形の特徴について述べ、そこから導き出される粗ミル形式による板幅変動の差、エッジヤパススケジュールと板幅変動との関係、板幅変動を少なくするテーパスラブの圧延方法について述べて。

(参考文献) 1) O. Pawelaki & V. Piber: *Stahl und Eisen*, 100-17 (1980-8), P. 937.  
 2) 二階堂, 道井, 柴田, 小坂田, 森: 昭和57年鋳加春季講論, (1982-5), P. 121.  
 3) 武井, 教内, 山崎, 岡戸, 有泉: 昭和54年鋳加春季講論, (1979-5), P. 501.  
 4) 木下, 担田, 沢瀧, 石井: 第32回鋳加連講論, (1981-11), P. 61.  
 5) 井端, 上田, 小久保, 平野: 昭和54年鋳加春季講論, (1979-5), P. 401.  
 6) 平野, 井端, 小久保, 上田: R & D 神戸製鋼技報, 30-1 (1980), P. 5.

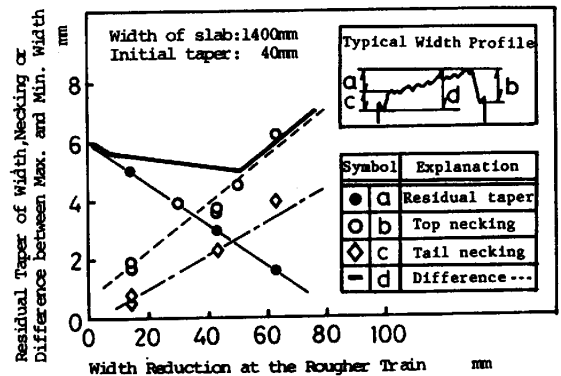


Fig.10. Relationship between width reduction at the rougher train and residual taper of width (actual mill).

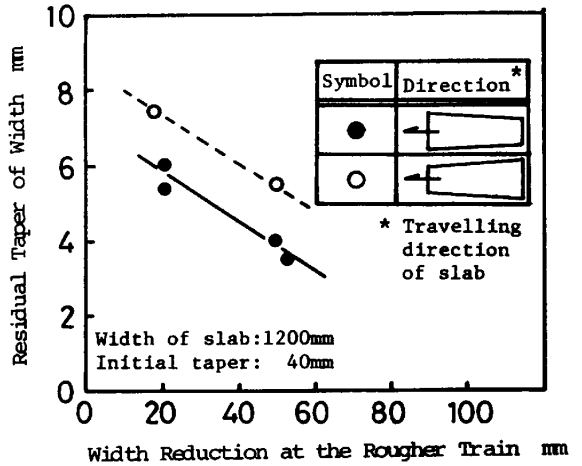


Fig.11. Comparison of residual taper of width for travelling directions of slab (actual mill).

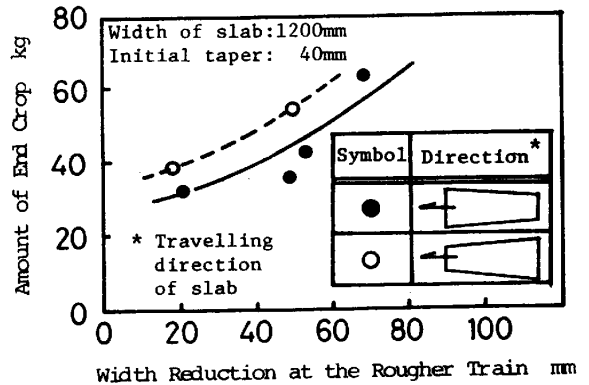


Fig.12. Comparison of end crop for travelling directions of slab (actual mill).