

シートゲージ用連続焼鈍ラインの高温安定通板技術

Technology of High-temperature Processing in a Continuous Annealing Furnace for Sheet Gage

川崎製鉄(株)水島製鉄所

平田基博*・貝原利一・蔵本浩史

中川二彦・児玉吉寿

1. 緒言

1970年代より冷延鋼板（シートゲージ）用連続焼鈍処理設備が開発され冷延工場の生産効率（労働生産性、歩止まり、リードタイム等）が飛躍的に向上した。しかし、製品に対する加工性、強度の要求が高まる中で、従来の低炭-Alキルド鋼をベースとした連続焼鈍法にて製造される冷延鋼板には限界があり、これに対し極低炭素鋼をベースとした製品が開発されてきた。このような新製品を安定かつ大量に製造するにあたっては、素材として軟かい極低炭素鋼を加熱・冷却過程においていかに「しわ」（ヒートバックル、クーリングバックル）・「蛇行」を発生させずに炉内を通板できるかが重要課題となる。

2. 加熱帯における安定通板技術

2.1 加熱帯における蛇行，ヒートバックル発生機構

一般的に、加熱帯においてはストリップを真直ぐ通板するため冷間状態でハースロールにクラウン（以下イニシャルクラウン）を設け（Fig. 1）ストリップに張力を付与し、蛇行矯正力（センタリング力）を働かせる手段が用いられる。ところが熱間ではFig. 1 に示すようにハースロール中央部はストリップに熱を奪われロールエッジ部に比べ温度が低下し熱膨張差による凹クラウン（以下サーマルクラウン）を発生させる。この状態でストリップの形状不良部や横曲がり部を通板すると蛇行矯正力にアンバランスを生じストリップが蛇行を始め、ストリップが一旦サーマルクラウンに乗り上げると凹クラウンにより炉壁側へ蛇行が助長され炉壁に衝突したり破断するという問題を起こす（Fig. 2）。

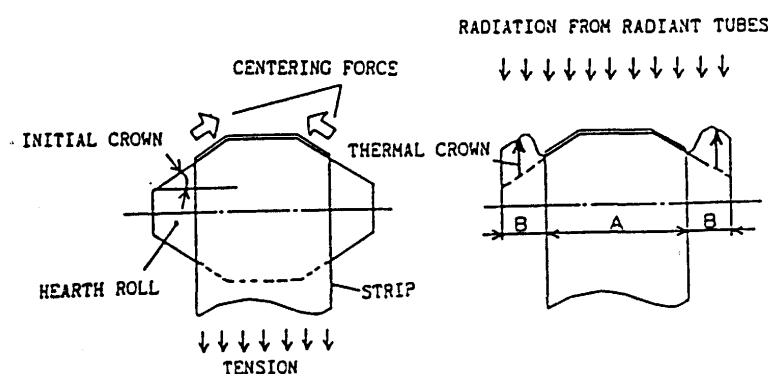


Fig. 1 Hearth roll crown
(in the heating section)

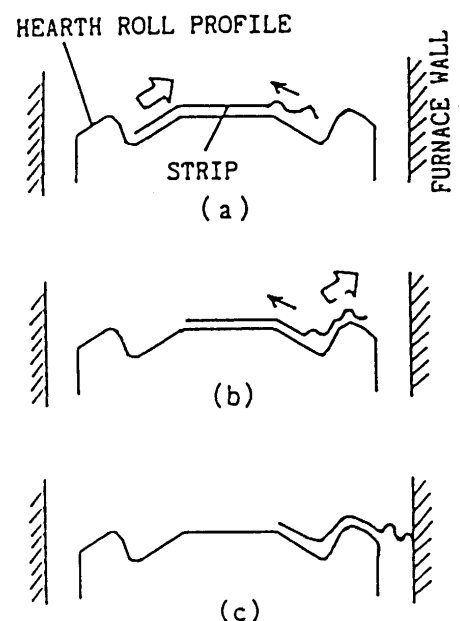


Fig. 2 Mistracking of the strip

この問題の解決策としては従来はイニシャルクラウンを大きくする事が実施されてきた。しかし、クラウンを大きくすると高温の炉内では、軟質で、板厚が小さく、板幅の広いストリップでは蛇行矯正力がストリップの座屈応力を超えてしまう（ヒートバックル:Fig.3）という問題があり、通板可能ストリップ寸法範囲が狭く規制されていた。これに対し、

- (1) ヒートバックル発生限界定量化によるイニシャルクラウン設計の最適化
 - (2) サーマルクラウン制御技術の開発による凹クラウン防止
- 等の対策を実施した。

2.2 ハースロールイニシャルクラウンの最適化

ヒートバックル発生限界を推定するにあたってはパイロットラインでのシミュレーションテスト及び実機（当社千葉No.2 CAL）の操業データより導出した予測式¹⁾

$$T_{cr} = K \cdot \frac{E \cdot t^2}{(B - H)^3 \cdot \theta} \cdot dT/d\sigma$$

T_{cr} : ヒートバックル発生限界張力

E : ヤング率

t : 板厚

B : 板幅

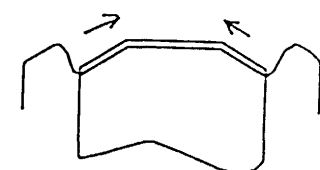
θ : クラウン（テーパ勾配）

H : ロール中央のフラット部長さ

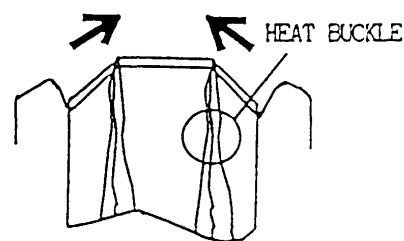
$dT/d\sigma$: ストリップ面内応力比¹⁾

K : 定数

を用いた。これを用いてFig.4 の手法にてロールプロフィール（テーパ勾配、中央のフラット部長さ）を設計した。張力制御においても千葉No.4 CALにて開発した方式²⁾を採用し、薄物・広幅材は低張力操業（3～5N/mm²）をおこなっている。



(a) initial crown is small



(b) initial crown is too large

Fig.3 Heat buckle of the strip

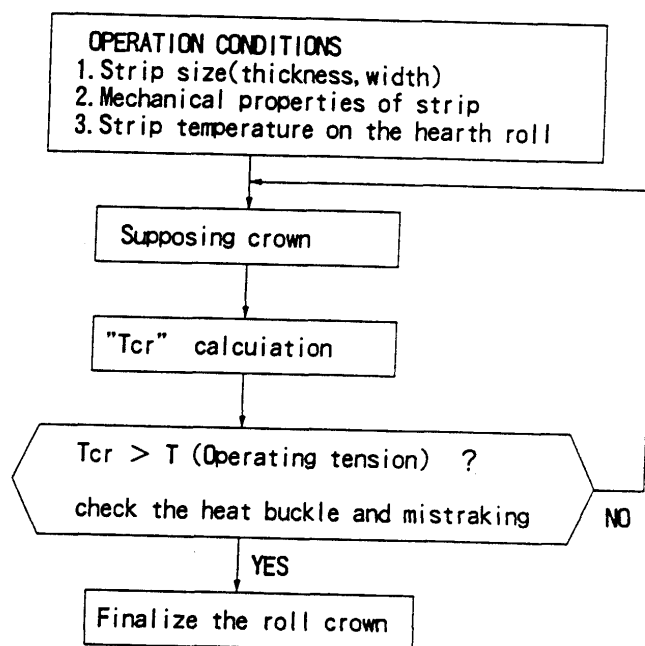


Fig.4 The hearth roll crown design flow

2.3 サーマルクラウン制御

サーマルクラウンの制御としてはストリップで冷却されたロール中央部分を加熱する方法と、ラジアントチューブにより加熱されたロールエッジ部を冷却する方法が考えられる。前者は、ストリップとロールとの熱伝達率が高いためロール中央部分はほぼストリップ温度と同じになり加熱容量は膨大で現実性に乏しい。一方、後者はロールエッジに投入される熱量分だけの冷却である。

Fig.5 に装置構成を示す。ハースロールへのラジアントチューブからの輻射を低減するためのロール室とロールエッジ部を冷却するガスジェット装置及びその循環系を設け、吹きつけガス量の変更でサーマルクラウンをコントロールする。

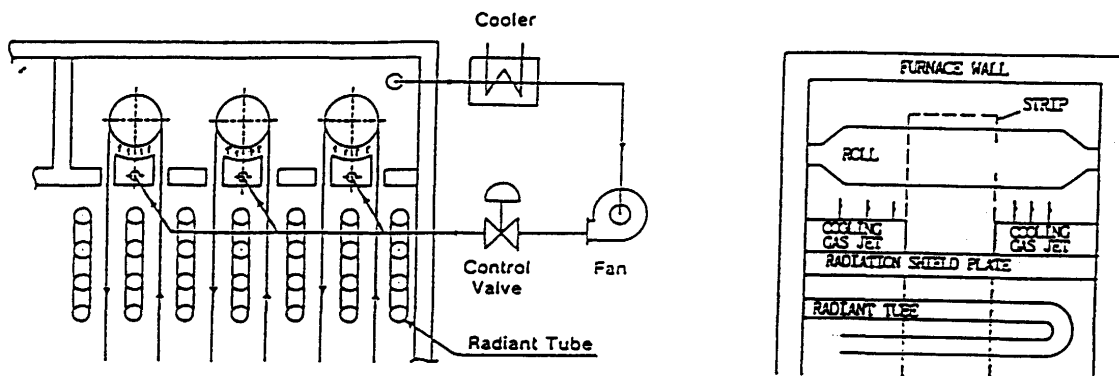


Fig. 5 The thermal crown control unit (in the heating section)

3. 冷却帯クーリングバックル対策

3.1 冷却帯クーリングバックル発生原因

耐デント性が要求される自動車アウターパネルなどに採用されている焼付硬化型超深絞り鋼板³⁾を連続焼鈍法で製造するに当たっては、均熱(850℃～)からの急冷が必要である。均熱後の急冷にはガスジェット冷却が一般的に採用されているが、ガスジェット冷却前後のハースロールがガスにより冷却されてしまう(Fig. 6)と加熱帯とは逆に凸クラウンが発生しストリップに「しわ(クーリングバックル)」を発生させる。これに対し

- (1) 冷却ガスのロール室への流入防止
 - (2) ロールエッジ加熱ヒーターの設置
- の対策を行なった。

3.2 冷却ガスのロール室への流入防止

ロール室へ流入するガス流れを3次元流動解析を行なったところ、

- ①ガスジェットノズルから吹き出したガスの一部はチャンバー室とロール室間を循環している
- ②循環流はガスジェットチャンバーの最もロール室側のノズルから吹き出すガスの運動エネルギーにて発生している

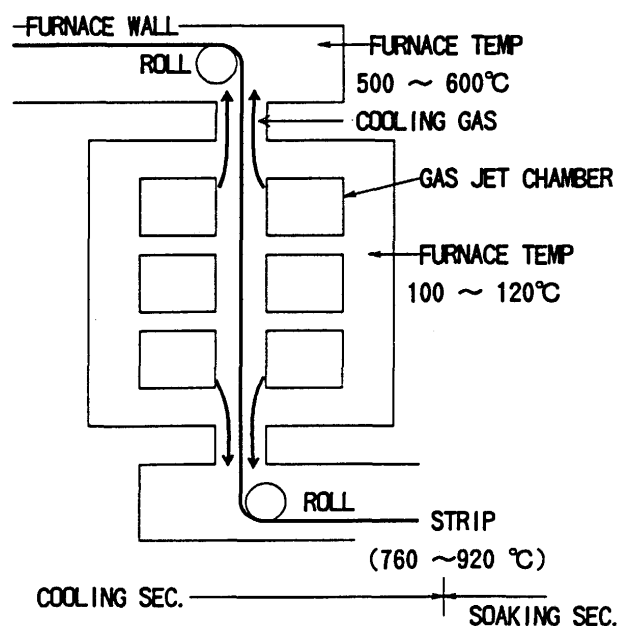


Fig. 6 Layout of the cooling section

ということがわかった。チャンバー室とロール室間の循環流を低減するためにノズル、チャンバーの構造変更、及びシールロールを設置する等の対策をおこなった。

(Fig. 7に冷却ガス風速と侵入量の関係を示す)

3.3 ロールエッジ加熱ヒーターの設置

ヒーターの設計にあたっては、前記ガス侵入及び炉体放散を補償する容量として（板温とロール温度差 50℃未満）サーマルクラウン制御を行なっている。

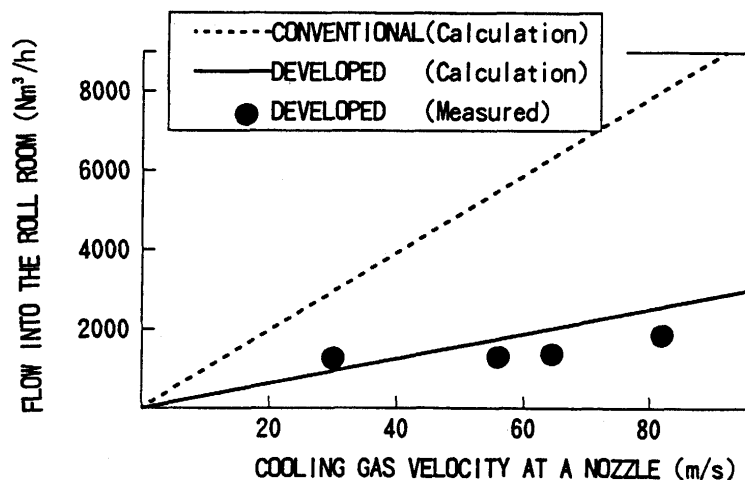


Fig. 7 Cooling gas flow into the hearth roll room

4. 通板可能範囲の拡大

以上の加熱帯、冷却帯での蛇行、バックリング対策を導入した水島No. 2 C A L⁴⁾は従来設備（水島No. 1 C A L…サーマルクラウン制御装置無し）に比べ極低炭素鋼板の通板可能範囲を大幅に拡大することができた。（Fig. 8）

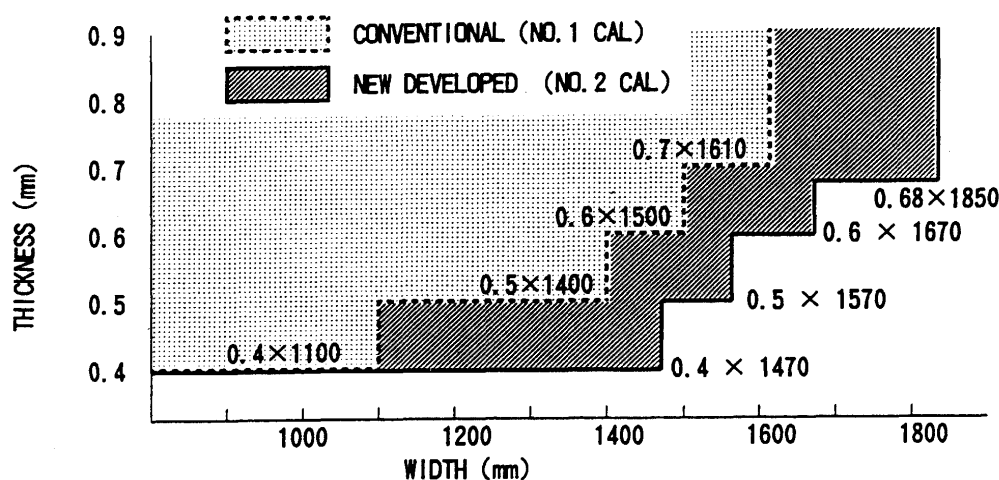


Fig. 8 Product size of extra-low carbon steel sheet

5. 結言

- (1) 「ヒートバックル限界によるハースロールクラウン設計」，「冷却ガスによる加熱帯サーマルクラウン制御」により加熱帯の蛇行，ヒートバックルを防止した。
- (2) 冷却帯のガス流れ解析を利用し冷却ガスノズル，ロール加熱ヒーターの設計を行なうことによりクーリングバックルを防止した。
- (3) 上記対策により，従来より通板可能範囲を大幅に拡大することができた。

参考文献 1) T. Sasaki, et al: Kawasaki Steel Tech. Report, 9(1984), 36

2) 高橋ら：鉄と鋼, VOL. 78(1992)-T145

3) 阿部ら：川崎製鉄技報 21(1989)3, 208

4) 蔵本ら：材料とプロセス, VOL. 5(1992)-521