

# 高品質ストリップ製造 コンパクトホットストリップミル

Compact Hot Strip Mill for High Quality Strip Production

広島製作所 清水孝宣\*<sup>1</sup> 岩谷 浄\*<sup>2</sup>  
葉佐井 二郎\*<sup>3</sup>

TRICO 向けミニミルでは、タンデム粗圧延機・コイルボックス及び仕上圧延機への PC ミル技術の採用により、ミニミルの特徴であるコンパクトな設備とした。それに加え、粗圧延プロセス、コイルボックスでの粗バーの均熱、最適デスケリングにより、圧延組織及び表面品質並びに板の寸法・形状において、高品質化が図られている。また、薄板の安定圧延にも優れており、その結果、運転開始から 5 箇月で 1.0 mm の薄板の生産を開始している。

The use of unique technology such as tandem roughing stands, coil boxes, and PC mills on finishing stands of the minimill designed and built for TRICO has led to an ultracompact facility. Rough rolling, the uniform bar temperature in the coil box, and optimum descaling of the minimill produce steel strips with a first-rate microstructure, surface quality, shape, and dimensions. The TRICO facility, with its excellent stable rolling of thin gauge strips, began producing 1.0 mm coil just 5 months after hot rolling started.

## 1. ま え が き

近年、熱間圧延設備においては従来冷延分野と考えられてきた 1.2 mm 以下の薄鋼板製造が志向されている。

熱間薄板圧延における技術的な課題は、コイル先端のかみ込みやコイルへの巻込みなどの通板安定性ととともに、圧延中のストリップ温度低下による組織不均一などへの対応が難しいことにある。

これらの課題への対応としては、コイル接合による連続圧延及び連铸機と直結したミニミル等の対応があり、前者については、川崎製鉄(株)千葉製鉄所で実現している。

本報では、コンパクトミニミルについて、アメリカ TRICO 社向けに新たに建設した設備の概要を紹介し、ストリップの高品質化並びに薄板圧延に対応するための設備・技術・操業結果についても概説する。

## 2. ライン構成と特徴

本設備は、1995 年から建設を始め 17 箇月後の 1997 年 3 月に操業を開始した。

図 1 にライン構成を示す。また、表 1 にミルの主仕様を示す。

熱間圧延設備上流には、走間板幅変更可能な連铸機が 2 基配置され、熱間圧延設備と同期・連続的に操業される。連铸機は、通常 90 mm 厚でスラブを鋳込むが、薄板圧延並びに硬質材圧延にお

ける圧延機の負荷低減のため、90 mm から 70 mm への走間未凝固圧下を可能としている。

表 1 熱間圧延設備の主仕様<sup>(1)</sup>

Main specification of hot strip mill

| 項 目        | 仕 様                                             |
|------------|-------------------------------------------------|
| スラブ        |                                                 |
| 厚さ         | 90/70 mm                                        |
| 幅          | 940~1 550 mm                                    |
| 粗ミル        |                                                 |
| モータパワー     | R 1 : AC 6 800 kW<br>R 2 : AC 8 000 kW          |
| 圧延荷重       | 4 000 t (Max.)                                  |
| ワークロール径    | R 1 : 1 350/1 250 mm<br>R 2 : 1 150/1 050 mm    |
| バックアップロール径 | 1 450/1 350 mm                                  |
| コイルボックス    |                                                 |
| 巻取厚        | 17~30 mm                                        |
| 最大巻取速度     | 230 m/min                                       |
| 仕上ミル       |                                                 |
| モータパワー     | F 1, F 5 : AC 6 000 kW<br>F 2~F 4 : AC 7 500 kW |
| 圧延荷重       | 4 000 t (Max.)                                  |
| 最終スタンドミル速度 | 855 m/min (Max.)                                |
| ワークロール径    | F 1, F 2 : 825/735 mm<br>F 3~F 5 : 680/580 mm   |
| バックアップロール径 | 1 450/1 300 mm                                  |
| ベンディング力    | F 1~F 4 : 120 t/side<br>F 5 : 150 t/side        |
| ベアクロス角     | 0~1.2° (F 1~F 4)                                |

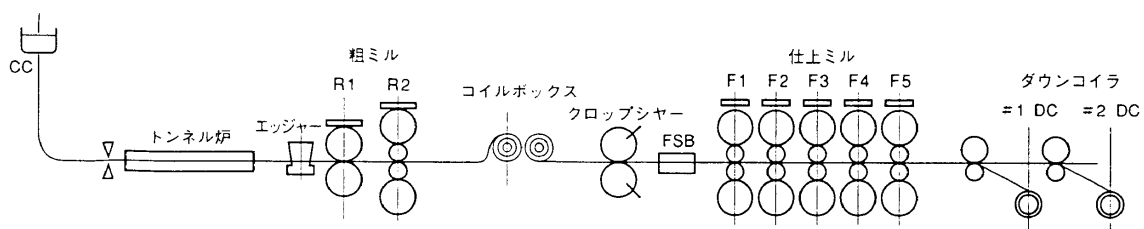


図 1 ライン構成概要 コンパクトホットストリップミルのライン構成を示す。  
Overall line configuration

\*<sup>1</sup> 製鉄機械設計部特専部員

\*<sup>2</sup> 製鉄機械設計部圧延プラント課主務

\*<sup>3</sup> 製鉄機械設計部圧延プラント課

連铸機で铸込まれたスラブは、連铸機に直結されたローラ炉床タイプのトンネル炉に直接挿入され、圧延で必要とされる温度まで加熱・均熱される。また、炉長はミル側のラインストップ（ロール組替え等）により、連铸機の操業が干渉されないよう、パッファを考慮して計画されている。

トンネル炉下流には、スラブを連铸機ラインからミルラインへ搬送するため、シフト式トンネル炉が配置されている。トンネル炉出側には、2基の粗圧延機（R1, R2）が、タンデムに配置され、抽出されたスラブを一回のパスで最小17 mm厚から最大30 mm厚まで圧下する。

粗圧延機のロールギャップは、長油柱シリンダで調整され、R1並びにR2入側には、それぞれ高圧水によるデスケリング装置が装備されている。また、R1入側には、スラブからストリップまでの水平圧延過程において発生する幅広がりを見込んで幅調整を行うための幅圧延機が配置されている。

粗圧延機で圧延されたスラブは、粗圧延機下流に配置されたコイルボックスでコイル状に巻取られる。その際、粗圧延機とコイルボックスは同期運転されている。

コイルボックスがない圧延設備では、粗圧延材と仕上圧延材の干渉を防ぐため、粗ミル出側テーブル下流にディレイテーブルが設置され、スラブ後端の温度低下を防ぐためにディレイテーブル上に保熱カバーが必要となる。

さらに、圧延によっては、スラブ後端の温度低下を補償するため、仕上圧延において加速圧延が必要となる場合もある。これらは、いずれも圧延ラインの長大化、圧延機台数の増加、駆動モータの巨大化につながるものである。

これに対しコイルボックスを導入すると、粗ミル仕上ミル間のテーブル長の大幅な短縮が図れ、バー（スラブ）はコイル状に保持されるため、バーの保熱性が高くなり、かつ温度は均一化される。このことは、特に薄板を圧延する上で、しばしば障害となるコイル単重の制約や加速圧延による圧延不安定要因をも解消する。なお、コイルボックスは、生産性も考慮し、同時に2つのコイルの巻取りと払出しを行えるよう、設計されている（2コイルオペレーション）。

コイルボックスから払出されたバーは、異周速ドラム式クロップシャーで先後端をカットされ、高圧デスケリング（Finishing Scale Breaker：FSB）で粗圧延後に成長したスケールを除去した後、5基の仕上圧延機（F1～F5）で所定の板厚（1.0 mmから

15.9 mm）に圧延される。

仕上圧延機には、バー内の荷重変化に伴う板厚変動並びにロールのサーマルクラウン成長に伴うバー内の板クラウン変動を補償するため、全スタンドに長油柱シリンダ AGC 並びに強力ベンダを採用している。

また、F1からF4には、様々な圧延スケジュールや要求される板プロファイルに応じ、各スタンド出側のプロファイル及び板形状を制御するため、ベアクロスミルを採用している。

F4とF5には、ロール組替周期の延長並びにスケジュールフリー圧延のために ORG（On Line Roll Grinder）を採用している。

仕上圧延機で圧延された鋼板は、ランアウトテーブルにより搬送され、2基の油圧式ダウンコイラで巻取られる。

ランアウトテーブルは、通板の安定性を高めるため、ロール間のピッチを狭く設計している。また、ランアウトテーブル上には板厚計、プロファイルメータ、形状計並びに幅計が配置され、板厚モニタ AGC 並びにダイナミックプロファイルコントロール及びダイナミック形状コントロールに使用される。また、ランアウトテーブルには、8バンクから成るラミネーター式のクーリングシステムが備え付けられている。ダウンコイラには、コイル先端巻付け時に発生するコイルマークを低減するため、ラッパロールの位置制御に QOC（Quick Open Control）が採用されている。

本ラインは、ミニミルとしての最大の特徴であるライン長の短縮による設備・建設費並びに設備維持費の削減に加え、以下に挙げる点において、ストリップの高品質化への対応も考慮されている。

- (1) 最適デスケリングによる表面品質の向上
- (2) 圧延組織の均一・最適化
- (3) 薄板圧延の通板安定性
- (4) 高い寸法・形状精度

次章に、これら対応技術並びに操業結果について述べる。

### 3. 対応技術及び操業結果

#### 3.1 最適デスケリング

図2に示されるようにデスケリングは、適所（R1入側、R2入側、FM入側、F1～2間）で行われる。

粗圧延は仕上圧延と独立して行えるため、仕上圧延速度と同期して圧延する場合に比べ、スラブをかなり高速で粗圧延することが可能となる。そのため、粗圧延前のデスケリングから粗圧延

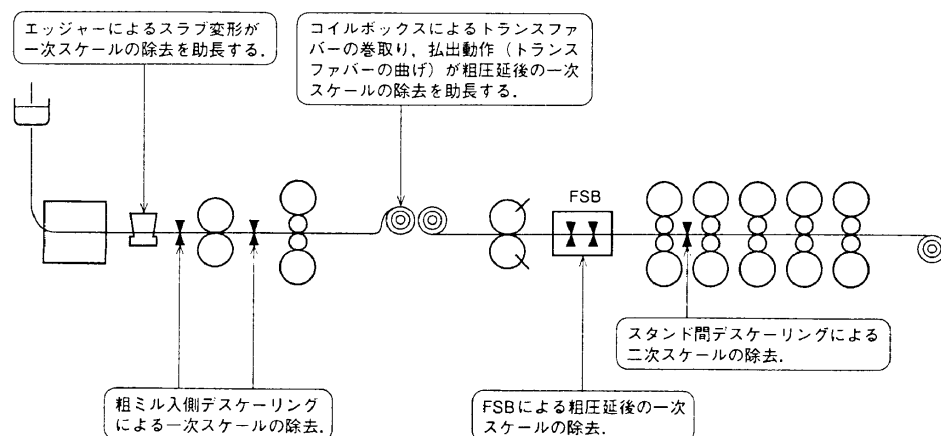


図2 最適デスケリング配置 スケールの高除去性、スケールの成長防止、デスケリングによる温度低下の抑制等を考慮したデスケリング配置を示す。  
Appropriate descaling

機までのスケールの成長、デスケリングによる板の温度低下を最小限に抑えることができる。

さらに、R1入側のアタッチドエッジャーによるスラブの幅圧延は、ストリップ幅調整、ストリップエッジ品質向上効果のほか、R1入側デスケリングを効果的にしている。また、コイルボックスにおけるトランスファバーのコイリング・アンコイリング（バーの曲げ）も、FSBにおけるスケールの除去を効果的にする。

これら最適デスケリングにより、ストリップの表面品質は、高い水準にある。

### 3.2 圧延組織の均一・最適化

本プラントは、粗圧延と仕上圧延プロセスから成っているが粗圧延機後にスラブ均熱化のためのコイルボックスを保有している。すなわち、スラブは粗圧延によりひずみを与えられ、コイルボックスで均熱されることにより、再結晶粒は均一に微細化された後、仕上圧延機で圧延される。

さらに、粗圧延での圧下率は、薄板圧延の場合で、R1、R2共に50%を超える。厚物圧延の場合でも圧下率が45%を超えることから、粗圧延の圧下率はかなり高く、再結晶粒の微細化がさらに図られる。

また、図3に示すように薄板圧延においても仕上圧延温度が適切に保たれることから、圧延組織並びに機械的性質は、従来型プロセスと同等もしくはそれ以上のものが得られる。

さらに、薄板圧延（1.0 mm 圧延）時の板幅方向の圧延組織並びにその機械的性質においても、図4に示されるように共に均一になっている。

### 3.3 薄板圧延の通板安定性

薄板圧延では、圧延負荷が大きくなるため、通常の圧延ラインでは、板プロフィール及び板形状の制御能力不足から、圧延機台数を増やすことによって、圧延負荷を下げる方法が採用される。しかしながら、圧延機台数を増加すると、スタンド間の温度低下が大きくなるため圧延速度の増速が必要となり、圧延機の大形化が避けられなくなる。

この問題に対し、本プラントでは板プロフィール・板形状制御能力に優れたベアクロスミルを導入することにより、圧延機台数を増やすことなく、また、圧延速度の増速に伴う圧延機の大形化をすることなく、薄板圧延を可能にした。

操業では、薄板圧延、取分け、1.2 mm 厚以下の圧延においては、その圧下率が最大60%に達する高圧下圧延を行っている。

表2に1.0 mm 薄板圧延時の代表的な圧延スケジュールを示す。ベアクロスミル導入に加え、バー内での板プロフィール並びに

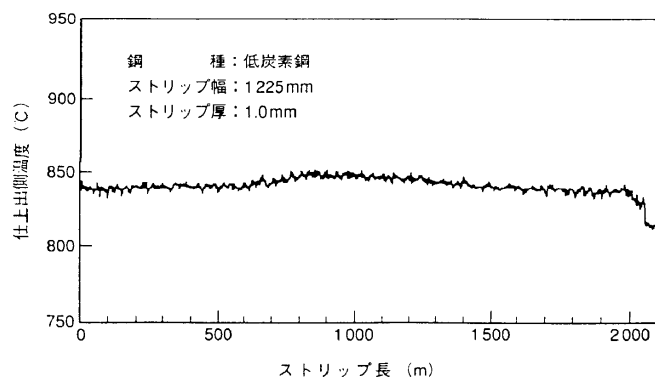


図3 仕上圧延機出側温度<sup>(1)</sup>  
Finishing mill exit temperature

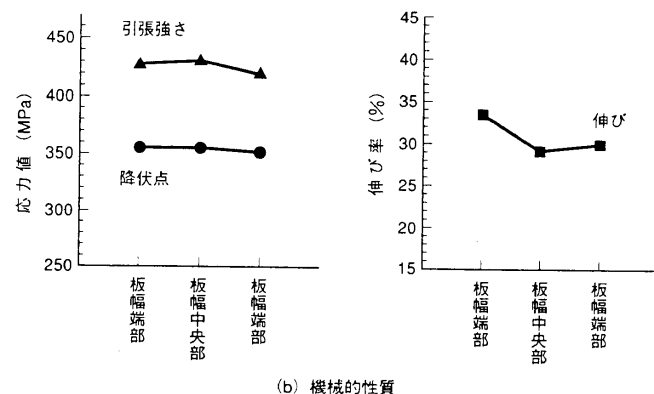
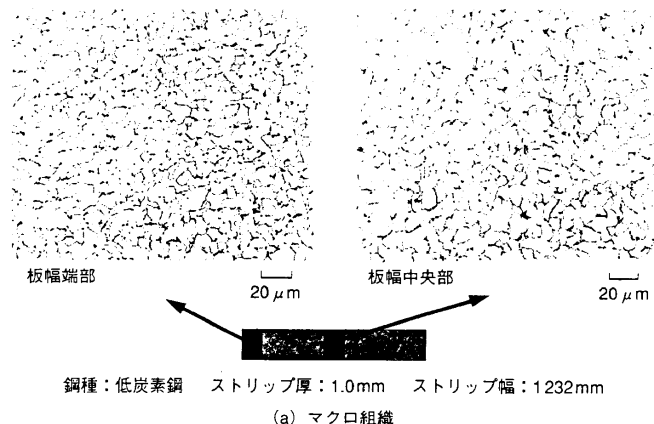


図4 1.0 mm 薄板圧延時の圧延組織と機械的性質 薄板圧延（1.0 mm 圧延）においても、板幅方向に、(a)マクロ組織、(b)機械的性質共に均一になっている。  
Microstructure and mechanical properties of strip 1.0 mm in thickness

板形状制御のために、強力ベンダを導入することにより、図5(a)、(b)に示すように1.0 mm 厚圧延においても板全長にわたって良好な板プロフィール並びに板形状が得られている。

熱間圧延設備は、前述のとおり、連鑄機と直結され、またスラブはローラ炉床トンネル炉を通過して加熱・均熱されることから、スラブ上にスキッドマークがない。さらに、コイルボックスでトランスファバーが均熱されることにより、仕上圧延前のバーの温度は、全長にわたって均一になる。そのため、薄板圧延においても圧延は極めて安定する。図6に示すように板厚偏差も15 μm 以内と良好な結果が得られている。

ベアクロスミル、強力ベンダ並びに上記薄板安定圧延に加え、操業技術（モデルの精調整等々）の改善・向上により、運転開始からわずか5箇月で1.0 mm 厚圧延を開始している。

表2 1.0 mm 薄板圧延時の圧延スケジュール  
Pass schedule of strip thickness 1.0 mm

| スタンド         | R1    | R2    | F1    | F2    | F3    | F4    | F5    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 圧下率 (%)      | 51    | 58    | 60    | 55    | 40    | 33    | 20    |
| 圧延荷重 (t)     | 3 883 | 3 298 | 3 236 | 2 908 | 2 307 | 1 814 | 1 332 |
| ミル速度 (m/min) | 50    | 113   | 80    | 178   | 297   | 447   | 574   |
| 板厚 (mm)      | 45.2  | 19.0  | 7.6   | 3.4   | 2.0   | 1.3   | 1.0   |
| ベアクロス角 (°)   | —     | —     | 0.812 | 0.733 | 0.633 | 0.603 | —     |
| ベンディング力 (t)  | —     | —     | 132   | 132   | 162   | 152   | 125   |

注) ・スラブ抽出温度: 1 150°C ・スラブ幅: 1 248 mm  
・スラブ厚: 91 mm ・鋼種: 低炭素鋼

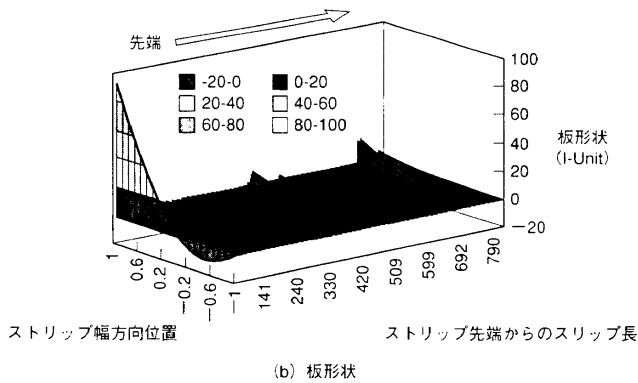
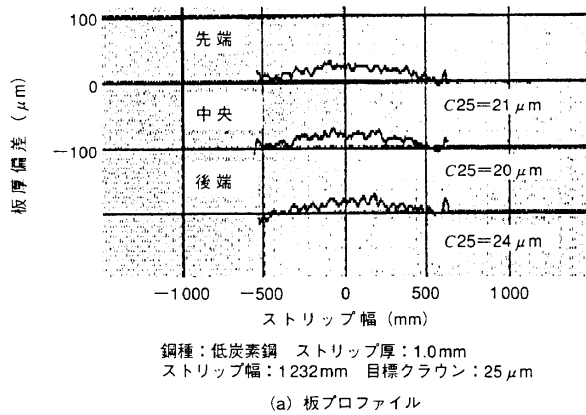


図5 1.0 mm 薄板圧延時の板プロフィールと板形状 ペアクロスミルと強力ベンダを導入することにより全長にわたって良好な(a)板プロフィール, (b)板形状が得られることを示す。  
Strip performance

#### 4. む す び

コイルボックスと板プロフィール・板形状制御能力を持つペアクロス圧延機を採用した TRICO のコンパクトミルで圧延されたコイルは、従来型圧延設備のものとは比べ品質・精度において優れていることを確認できた。

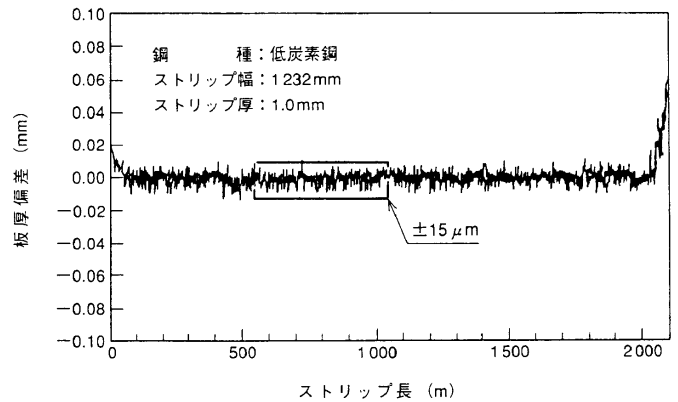


図6 1.0 mm 薄板圧延時の板厚精度<sup>(1)</sup> 熱間薄板圧延では、圧延は、極めて安定し、板厚偏差も少なく良好である。  
Gauge performance

特に薄板圧延については、運転開始後わずか5箇月で1.0 mm厚薄板圧延の製造に至っており、本プラントが薄板を安定して生産できる能力が高いことを実証している。

ペアクロス圧延機は、従来の大規模熱間圧延設備における多数の実績に加え、コイル均熱化のためのコイルボックスと組合せ、強力な板プロフィール制御能に付随する高圧下圧延能力を発揮することにより薄鋼板まで安定して圧延ができるコンパクトミニミル設備を実現した。

ペアクロス圧延機を基軸に現在、コイルボックスの代りに、長尺スラブ用のトンネル炉を備えた新たなコンパクトミニミルも建設中であり、今後も熱延薄鋼板製造設備の多様化にも十分貢献できるものと確信している。

#### 参 考 文 献

- (1) Minami, K. et al., Hot Rolling of Thin Gauge Strip at Trico Steel, STEEL ROLLING '98 paper, p.739