

## Development of Hot Rolling Process Technique for Higher Quality Requirement in No. 2 Hot Strip Mill at Chiba Works



豊島 貢  
Ko Toyoshima  
千葉製鉄所 企画部企  
画室 主査(部長)



相原 正樹  
Masaki Aihara  
千葉製鉄所 西工場新  
設備建設班 主査(部長  
補)



音田 聡一郎  
Souichiro Onda  
千葉製鉄所 熱延部第  
2 熱圧課 主任部員(掛  
長)



竹中 久雄  
Hisao Takenaka  
千葉製鉄所 設備技術  
部機械技術室 主査(課  
長)



前田 政和  
Masakazu Maeda  
千葉製鉄所 設備技術  
部電気・計装技術室 主  
査(部長)



新田 純三  
Junzo Nitta  
千葉製鉄所 西工場新  
設備建設班兼設備技術  
部電気・計装技術室 主  
査(課長)

### 1 緒 言

近年、顧客における省工程、自動化、歩留り向上、コストダウン、高抗張力化等のニーズがますます高くなってきており、それに合致した鋼板の供給が強く求められている。このような状況のもとに、千葉製鉄所で製造している自動車用鋼板、鍍金用鋼板、ステンレス鋼板、高炭素鋼板等の熱延鋼板に対する品質要求も一段と厳しいものとなってきている。材質の均一化はもちろん、板厚、板幅、平坦度、プロフィール等の寸法および形状の高精度化、コイルエンドを含む全長の完全製品一級化、要求納期にジャストインタイムに届ける納期管理等が要求されてきており、これら種々の要求に対応する製造能力が必要になってきている。

千葉製鉄所の第2ホットストリップミルでは、板厚、板幅、平坦

### 要旨

近年、熱延製品の板厚、プロフィール、材質、納期等に対する要求は一段と厳しさを増している。これらの要求に応えることを目的に、仕上圧延機前段へのロングストロークのワークロールシフト(WRS)、F5 スタンドへの油圧圧下、蛇行制御の導入を行い、前段スタンドでの KWRS (テーパ付 WRS) 圧延によりクラウン制御能力を大幅に向上させ、後段スタンドの既設 WRS と組み合わせてプロフィール、平坦度、厚み精度の優れた熱延鋼板の製造技術を確立した。また、この技術をベースに連铸スラブの直送圧延(DHCR)を行い、リードタイム短縮、エッジヒーター設備による材質の均一化、コイラーガイドの油圧化による巻き形状の向上もはかった。

### Synopsis:

The thickness gage, traverse gage profile, uniformity of the material property and delivery time of hot-rolled strip are important quality requirements reflecting user's demands growing ever more severe. To satisfy these demands, long-WRS in former stands of finishing mill and hydraulic AGC in No. 5 stands of finishing-mill with steering detector were applied to Chiba No. 2 hot strip mill. By using a tapered-crown work-roll shifting in the former stand, ability of crown control was improved to obtain a good profile, flatness and accurate thickness in combination with a sine-curved conventional work-roll shifting in the later stand. On the basis of these techniques, DHCR (direct hot charge rolling) was established to shorten the delivery time. Edge heater equipment was installed to obtain uniformity of mechanical properties in the cross section of strip, and a hydraulic-side guide was installed to obtain good coiling shape in hot strip.

\* 平成3年8月4日原稿受付

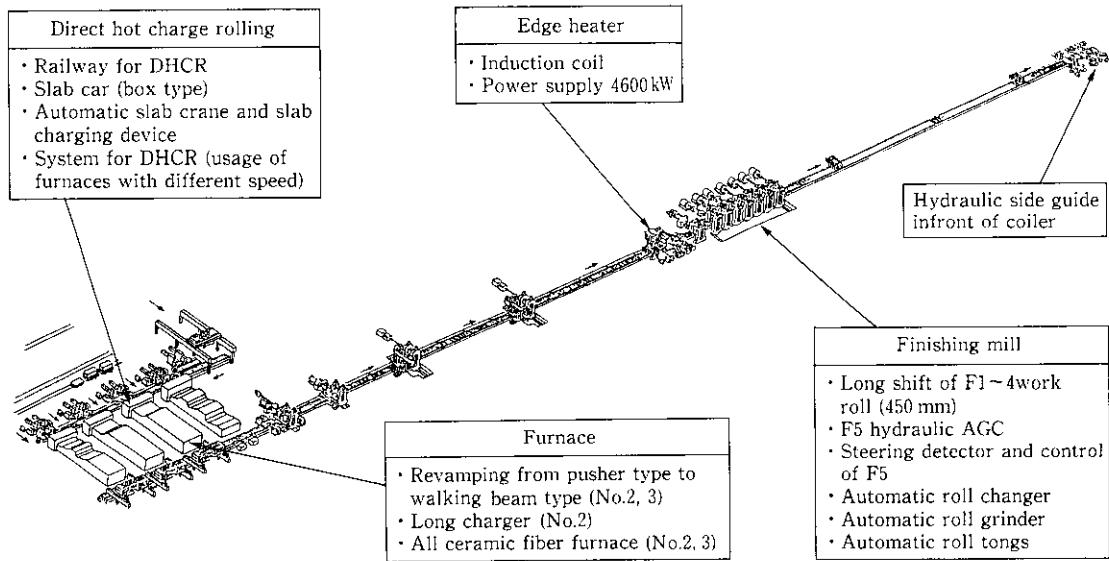


Fig. 1 Outline of recently modified equipments in No. 2 hot strip mill

り、ステンレス、高炭素特殊鋼、珪素鋼、ハイテン等の圧延特性および目標クラウンの異なる鋼種も含めて、要求プロフィール、安定形状を確保した品質のよいものをタイミングよく顧客に届けることが可能となった。

また、材質の均一化、巻取形状については、1986年コイルボックスの導入、1982年コイラー改造を行い品質向上を行ったが、さらにより一層の品質向上のために、端部加熱による材質の均質化、および油圧ガイドの導入による巻取制御対策の向上もはかった。

本報においては、これらの設備について概要を紹介すると共に得られた操業成果について述べる。

## 2 設備概要

Fig. 1 に最近の、Table 1 にこれ迄の高品質対応の設備改造概要を示す。Fig. 2 に仕上スタンドでのこれ迄の設備改造範囲を示す。一層の板クラウン、平坦度改善と SFR を目的として、F5~7 ロングストローク WRS に加え、前段 (F1~4) スタンドへ WRS およびベンダーを追加した。前段スタンドについても、WRS のシフト量とベンダー力は後段並の強力なものとし、ハイテン、ステンレス、特殊鋼等における前段スタンドでの板プロフィール低減効果を

Table 1 Items of modified equipments

	Item	Main purpose	Start-up
Former modification	(1) Automatic jumping control in coilers	Coiling shape	July '81
	(2) Automatic width control in R4	Width	Nov. '84
	(3) To change walking beam type in No. 4 furnace	Surface of hot coil	July '84
	(4) Workroll shift in F5~7 and hydraulic AGC in F6, 7	Thickness and profile	Apr. '86
	(5) Coil box	Mechanical property	Aug. '86
Recent modification	(1) To change walking beam type in No. 2 and 3 furnaces	Surface of hot coil	Aug. '88
	(2) Direct hot charge rolling	Lead time	Apr. '89
	(3) Edge heater	Mechanical property	July '89
	(4) Hydraulic side guide in coiler	Coiling shape	Apr. '90
	(5) Workroll shift in F1~4, hydraulic AGC in F5, and absolute gauge AGC	Thickness and profile	Apr. '90

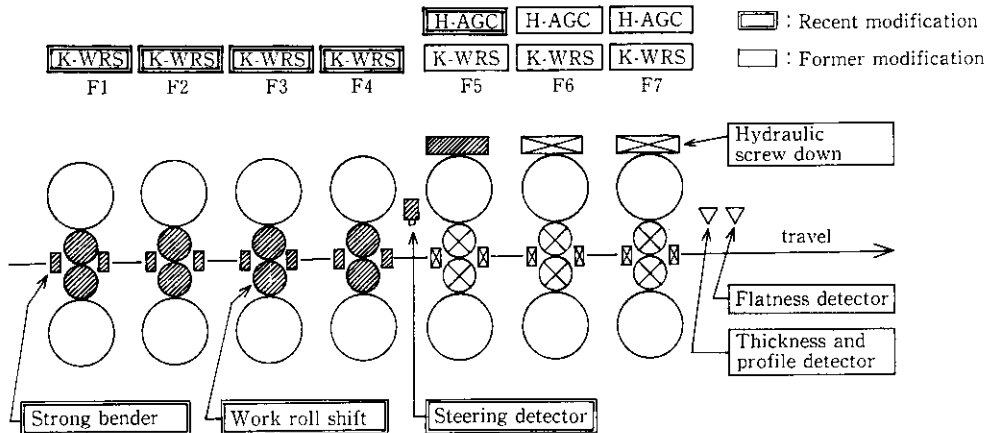


Fig. 2 Configuration of reconstruction of finishing mill

高めると共に、SFRにおける狭幅と広幅の交互圧延時にそれぞれの要求プロフィールに合致できるようにクラウン可変能力を持たせている<sup>4,5)</sup>。

板厚精度向上についてはF5油圧AGCを導入、1986年設置のF6, 7と合わせて3スタンドとなった。F6, 7に比べさらに強力になっていると共に、センサー方式の蛇行制御を具備している。

また、これらの改造と同時に全自動ロールチェンジャー、全自動ワークロールグラインダー、2段ロール同時吊トング等を導入し効率化を図っている。

材質の均一化については、高パワーのエッジヒーターを導入し、従来低パワーの場合通電時のギャップを小さくできない。ストリップ形状が悪い場合でも大ギャップで加熱効果高めると共に、エッジヒーター直前にストリップのレベリング設備を設置しストリップ形状を矯正することにより稼働率の向上を図っている。これにより前回設備したコイルボックス設備でストリップの長手方向材質を、今回のエッジヒーター設備で幅方向の材質均一化をはかり、ストリップ全域にわたって均一な材質のコイルを供給できるようになった。

加熱炉については、No. 2 および3号炉のウォーキングビーム(WB)化改造を行った。1984年のNo. 4号炉と合せ3炉すべてウォーキングビーム炉となった。特にNo. 2号炉については、No. 3連鑄機からの熱スラブのDHCRを行うため装入口へのロングチャージャーを導入しマッチングゾーンをもうけると共に、WB関係のサイクルタイム短縮を図った。また、炉壁、天井のオールセラミックス化を行い熱慣性を小さくし、熱片スラブ、冷片スラブの切り替えに十分追従すると共に放熱ロス低減をはかった。

スラブヤードについては、DHCR用の貨車線、ボックスタイプの高断熱スラブ台車、自動装入クレーンおよび装入ローダーを設置し、熱片スラブと冷片スラブの異速装入を行う異速炉分けシステム等のDHCR操業システムの開発を行った。これにより3CCから2ホット加熱炉に無人で高温スラブを供給できるようになった。

また、ホットコイルの巻き姿のレベルアップに関しては、1982年にコイラー本体および制御系改造を行い、巻き姿の向上とAJC (automatic jumping control) によるエンド疵の防止をはかってきた。さらに今回、コイラー前のサイドガイドをプレートガイドとローラーガイドを組み合わせたロングガイドに更新し、ショートストローク機能に油圧サーボ制御を導入した。ストリップ先端から後端まで精度良く強力にガイディングすることにより、最内巻および最外巻も含めた巻き姿の向上を図った。これらの設備は、1988年7月から1990年4月にかけて設置され、効果を発揮してきている。

### 3 寸法精度向上

#### 3.1 設備仕様

Table 2 に WRS 設備の仕様を示す。シフトストロークは後段と

Table 2 Specifications of work roll shift

Stands	F 1~4	F 5~7
Shift stroke	0~450 mm ( $\pm 225$ mm)	
Shift speed	40 mm/s	
WR bending force	50~250 t/chock (only increase)	
Start up	Apr. 1990	1986

Table 3 Specifications of hydraulic AGC

		F 5	F 6-7
Cylinder stroke		16 mm	20 mm
Cylinder diameter		$\phi 1060$ mm	$\phi 1000$ mm
Speed		5 mm/s	
Responce		25 Hz at phase lag 90 deg.	
Control	AGC	Gage-meter X-ray monitor Absolute gage	
	Steering control	Sensor type	Load difference type
	Others	Roll eccentricity control	
Start-up		Jul. 1989	Apr. 1986

同様に0~450 mmとし、片台形ワークロール使用下で圧延単位内板幅変化900 mmまで対応可として、またサイクリックシフト $\pm 225$  mmとしSFR時450 mm幅戻り対応可能としている。シフトスピードも早くSFRの450 mm幅戻り可能としている。

Table 3 に、油圧圧下設備およびその制御の仕様を示す。油圧AGCを後段3スタンドに具備すると共に、F5入側に蛇行センサー(CCDイメージセンサー方式)を設置することにより蛇行制御性の向上を図った。

#### 3.2 プロフィール

当工場ではクラウン対策として、Fig. 3 に示すテーパー付WRシフト (Taper adjust 法, Taper oscillation 法) を行っている。仕上前段スタンドにK-WRSミル (テーパー付WRS) を増設したことにより、

- (1) K-WRSの多スタンド化による、スタンド当りのクラウン変更量の分散
  - (2) 形状感受性の小さい領域 (仕上前段スタンド) での大幅なクラウン修正
- が可能となり、板クラウンの大幅な減少が実現された。

Fig. 4 に厚み公差厳格材のクラウン推移を示す。前段へのK-WRS適用スタンドの移行により、普通鋼の板クラウン $Cr_{25}$ は60  $\mu$ mから25  $\mu$ mに、また高張力鋼の板クラウンは85  $\mu$ mから40  $\mu$ mに減少した。同時に後段3スタンドにおいて、摩耗分散を目的

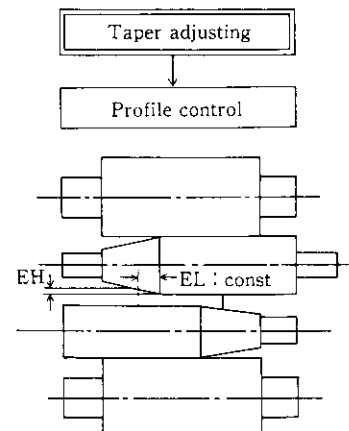


Fig. 3 Taper adjustment method

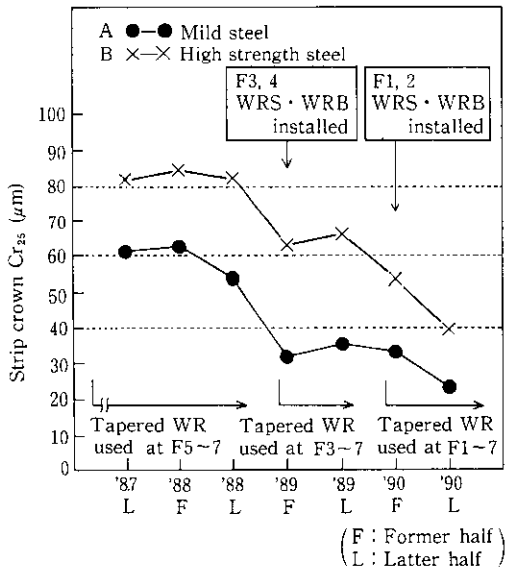


Fig. 4 Improvement in strip crown

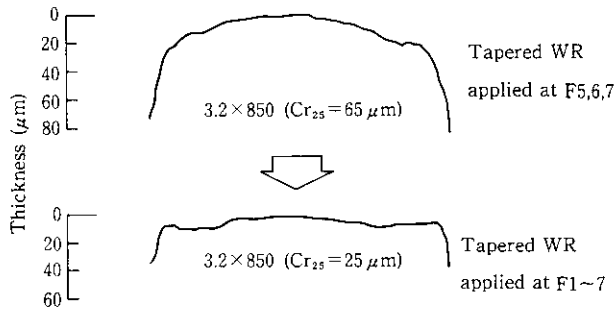


Fig. 5 Strip profile of high strength steel (540 N/m<sup>2</sup>)

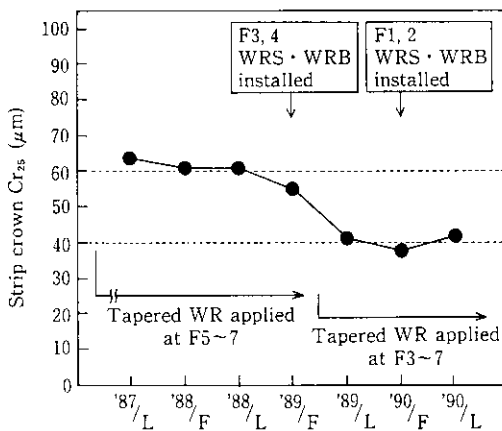


Fig. 6 History of improvement of strip crown of stainless steel

としたサイクリックフトを併用することにより、クラウン厳格材の幅戻りが可能となった。改善されたプロフィールの例を Fig. 5 に示す。

ステンレス (SUS 304) のクラウンの推移を Fig. 6 に示す。K-WRS の多スタンド化により、クラウンを 60 μm より 40 μm に減少することができ、またクラウン修正量の分散によりスタンド間形状も安定化した。

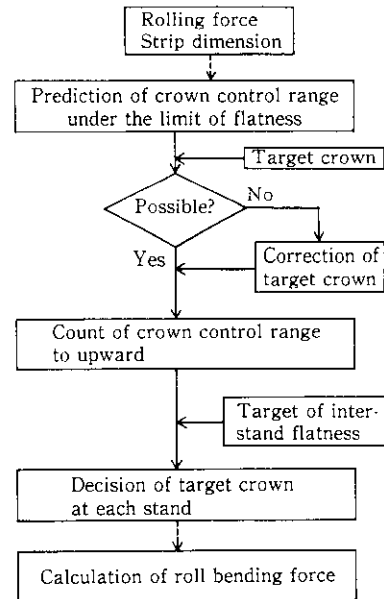


Fig. 7 Schematic diagram of crown correction plan

前述のハード改造と共に、ベンダー設定計算システムを再構築した。目標製品クラウンを仕上ミル出側で達成できるように、全スタンドにおけるクラウン変更計画を作成した。Fig. 7 にその概念図を示すが、特徴は以下のとおりである。

- (1) いったん、仕上全スタンドを対象に、ハード能力と形状限界から達成し得る最終スタンド出側クラウン範囲を求める。次に最終目標値から、後段スタンドは形状変化を少なくする方向で、中間スタンドの目標クラウンを決める。
- (2) その中間スタンドの目標クラウンを達成するように前段スタンドのベンダー力を計算する。同様に後段のベンダー力も計算する。
- (3) 各スタンドのクラウン変更能力、形状変化限界が守られない場合は守られるように最終目標クラウンを変更する。

Fig. 8 に当該設定計算の実施例を示す。目標クラウン値に対する実績値に対する実績クラウン  $Cr_{25}$  の偏差平均  $\bar{x} = -2.6 \mu m$ 、標準偏差  $\sigma = 9.2 \mu m$  であり、良好な制御結果を得ている。前段スタンドに強力なクラウン可変能力が具備されたことにより、後段スタンドで形状限界、クラウン変更能力にかからないような中間スタンド出側クラウンが、ほぼすべての鋼種で得られることができ、クラウン低減および精度向上がはかられている。

### 3.3 板厚精度

油圧 AGC を 1 スタンド増設することにより、より前段からの板厚修正が可能になった。従来の F6 と 7 の 2 スタンド油圧 AGC 時に比べて AGC ゲインを大幅に増大させることができ、良好な板厚精度が得られている。これは、従来の F6 主体の AGC 制御から F5, 6 スタンドと分散されたことと、クラウン・形状セットアップにより後段スタンドのスタンド間形状が安定化されるのでより大きな板厚修正が可能となっているためと考えられる。また、圧延材先端噛込み時からの絶対値 AGC を適用することにより、低炭素鋼 (2.0 mm ≤ 板厚 < 3.2 mm) で 99.3% の ±50 μm オンゲージ率を達成している。さらに絶対値 AGC は拡大チューニング中である。Fig. 9 に、AGC 精度をオンゲージ率の推移を示す。

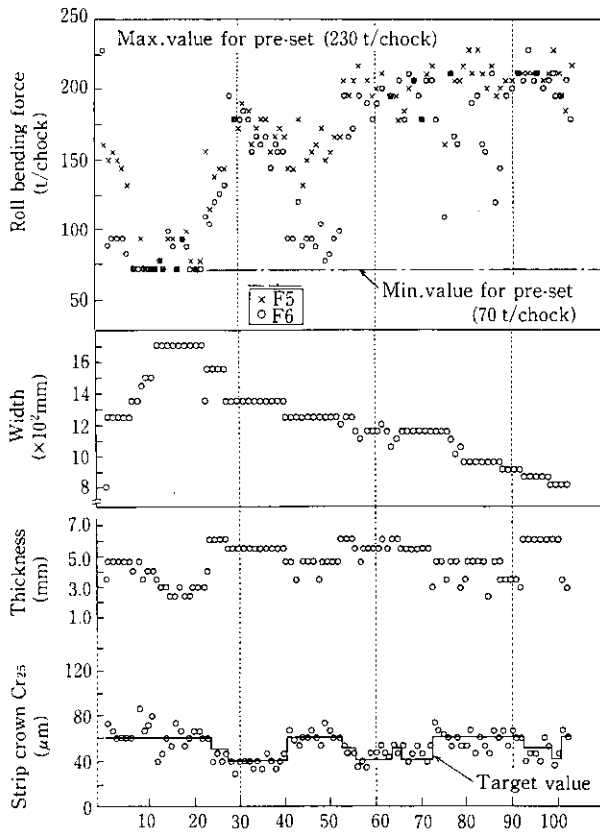


Fig. 8 Change in strip crown in hot rolling with crown and bender set up control

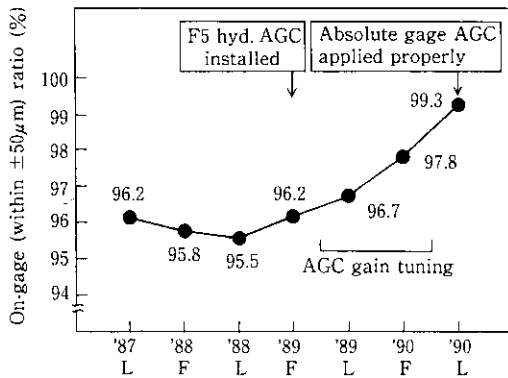


Fig. 9 History of improvement of thickness gauge

#### 4 直送圧延 (DHCR)

前記 WRS, クラウン・形状セットアップ, 油圧 AGC を活用することにより, 高いレベルの品質作り込みを維持しながら, 仕上圧延ミルで大きな制約となっていたワークロールの局部摩耗, ロール肌荒れ, 厚み・幅接続条件, ロールのイニシャルカーブ等の制約が大幅に緩和可能となった。このスケジュールフリー圧延 (SFR) をベースとした DHCR 技術を確立した<sup>7,8)</sup>。

千葉製鉄所は, ホットストリップ向の普通鋼を主として製造する No. 3 連铸機 (3CC) と No. 2 ホットとの間は約 6.5 km と遠く, 熱スラブの輸送に時間がかかり, またホットの装入スラブヤードも冷片材を主体とするヤードレイアウトになっていた。

Fig. 10 に示すように, 従来の冷片スラブ装入設備の他に熱片装入線を新設した。これは熱スラブ輸送の貨車線および自動装入クレーン, スラブローダーから成る装入設備であり, No. 3 連铸機のスラブヤードから No. 2 ホット加熱炉まで自動搬送を行っている。

貨車については, Fig. 11 に示すように, ファイバー主体の高断熱のソリッドタイプのスラブ Box 台車を開発して, 長距離輸送であるがトラッキングタイム 4~5 時間でスラブ装入温度 800°C 近い実績を上げている。また, Box の開閉も CC, ホットで完全自動としロス減少をはかっている。

加熱炉の操業は仕上ミルの SFR の拡大にしたがい, Fig. 12 に例を示すように, 3CC の能力に合った熱片装入スラブを No. 2 号炉に, No. 3 および 4 号炉にはホット能力と 3CC の能力差分の冷片スラブを装入し, 完全 mix 圧延を実施している。No. 2 および 3 号炉は従来のプッシュタイプをウォーキングビーム (WB) タイプに改造し, セラミックファイバー断熱とし熱慣性を小さくし, 熱片と冷片の切り替え追従および炉内のスラブの速度変動への追従も早くしている。また No. 2 号炉は入側に約 8 m のロングチャージャーを設置, 連铸スラブの到着の遅れに追従可能なように, 炉の能力も 3CC の能力 480 t/h に追従できるようになっている。DHCR は連铸, ホット等の種々の要因に能力が左右されるが, 各々の能力バランスに応じフレキシブルに能力を変える異速炉分けシステム等のシステムを開発し, CC およびホットの操業予測を見ながら最適操炉を行い, 量的拡大, 効率アップを図っている。

現在の SFR は, 板厚接続 1/3~3 倍, 板幅 450 mm の幅戻りは完全フリーとしており, 前記品質レベルを維持しながら mix 圧延を可能にしている。これにより, 従来 3CC より No. 2 ホットまで温

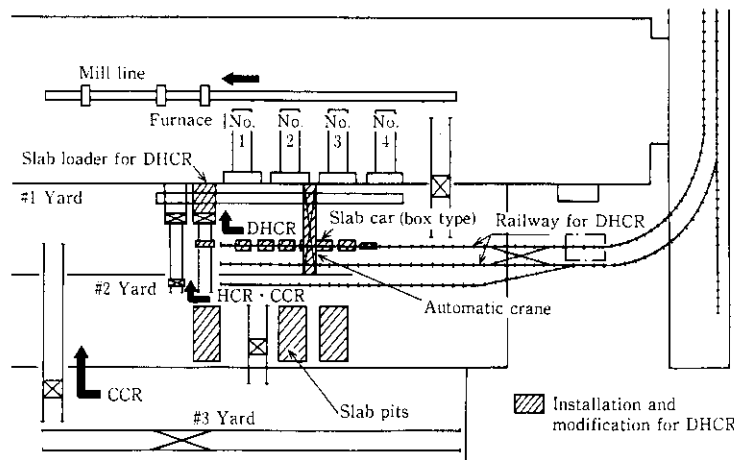


Fig. 10 Layout of slabyard

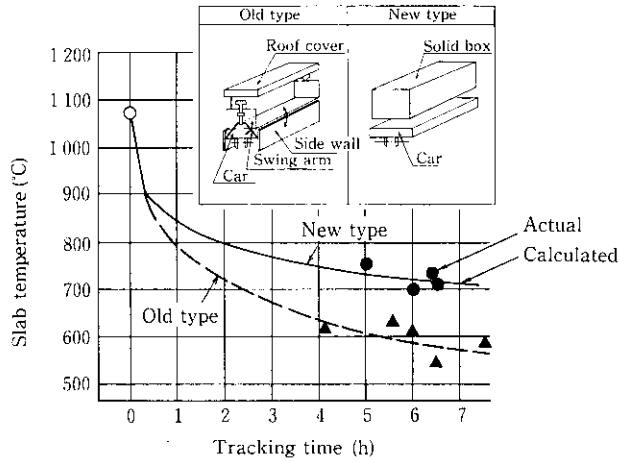


Fig. 11 Relation between slab temperature and tracking time

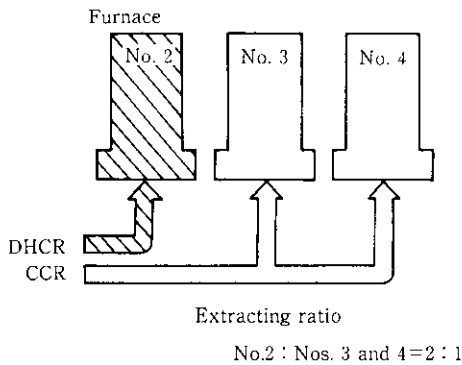


Fig. 12 Example of DHCR operation

片装入として1~1.5日かかっていたが、4~5時間で製造可能となり大幅なリードタイム短縮を図っている。

また、ステンレスと特殊鋼については、CCの鑄込み計画上、No. 1ホット材又はNo. 2ホットの非DHCR材を鑄込む所に定周期で圧延するようにスケジューリングし、週に2~3回のチャンスで均等に処理するようにしている。これにより、ステンレスと特殊鋼についてもリードタイムの短縮がはかられている。DHCRの処理量は、SFRの制約緩和にしたがい大幅に拡大し、現在では110,000 t/monthを超えるレベルになってきている。

### 5 幅方向材質均一化

熱延製品は、材料長手方向、幅方向に均一性が要求される。長手方向については、ホットラン冷却のラミナー化およびそれに伴うストリップ冷却制御システムの開発、コイルボックス設備の導入等をすでに実施し成果を上げている。今回は幅方向材質均一化を目的にシートバーエッジヒーター設備を導入した。この設備は以下のような特徴をもっている。

- (1) エッジ30mmのFDT(仕上圧延出側温度)をセンター温度と同程度に上昇できる強力な設備で、形状に対するギャップ補正およびシートバーの位置ずれに対する補正制御を行っても十分エッジ温度を上昇しうるものである(Table 4)。
- (2) エッジヒーターの直前にレベルー設備をもち、特にストリッ

Table 4 Specifications of edge heater

Item	Content
Heating method	Induction heating
Power supply	2 300 kW × 2
Heating capacity	Temperature rises 35°C at edge 30 mm (bar thickness 35 mm)
Number of coils	2 × 4
Car position control	AC motor: stroke 1 525 mm
Leveling device	Knock down roll, leveler roll (five rolls of 470 mmφ)

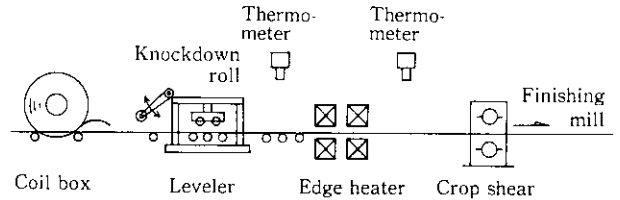


Fig. 13 Layout of edge heater

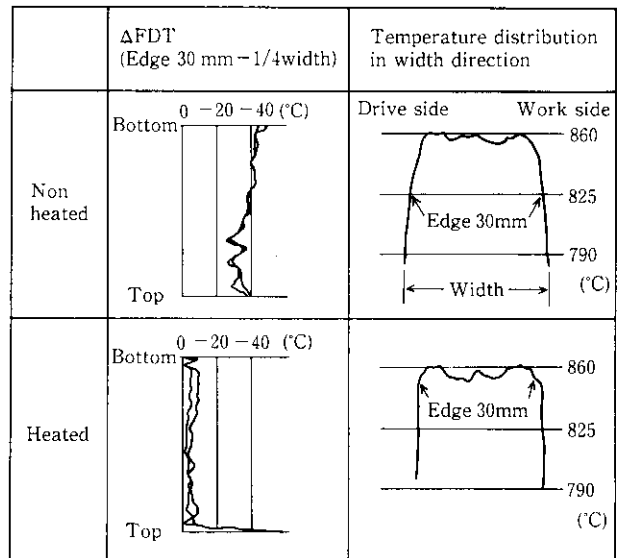


Fig. 14 Comparison of temperature distribution in width direction on the delivery side of finishing mill

プの先、尾端の形状が悪いためにエッジヒーター設備を回避させる、またはギャップを上げ効率を落すこと等のないように配慮している。これにより、コイルボックス材も十分矯正可能であり、対象材について99%近い稼働率を維持している。

Fig. 13にレイアウトを、Fig. 14にエッジヒーターによるエッジ温度の上昇状況を示す。エッジ30mmの位置でセンター温度とほぼ同等に上昇することができる。長手方向のランダウン、ワークサイドとドライブサイドの差についても温度計からの補正制御を加えることによりほぼ均一に制御できている。

このようにエッジ温度をコントロールすることにより、Photo 1に示すように熱延鋼板のエッジ近傍から均一な微細結晶粒を得ることができる。これにより、ステンレス鋼のエッジ肌荒れ、極低炭素鋼の耳荒れ、リロール材のエッジ耳伸び不良の大幅な改善ができた。

Fig. 15に極薄リロール材のリロール後の耳伸び不良率の改善例を示すが、エッジヒーターを使用しエッジの組織改善をすることに

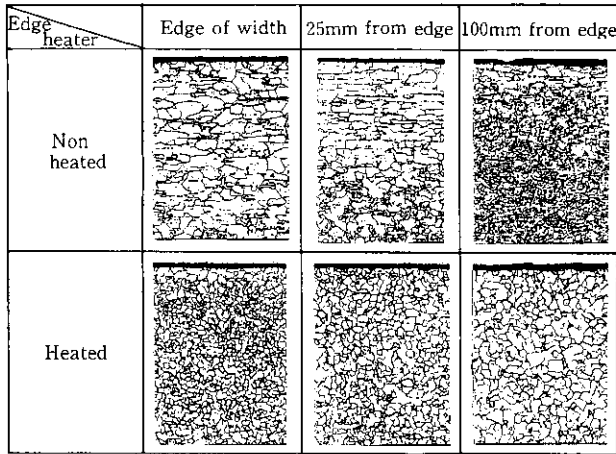


Photo 1 Effect of heating by edge heater on strip microstructures in width direction

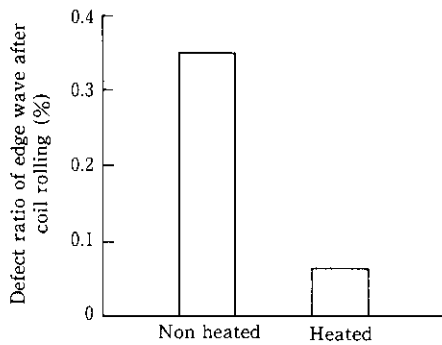


Fig. 15 Improvement in edge wave defect ratio after cold rolling by applying edge heater

より、耳伸び不良率は 1/5 以下に低減している。

### 6 巻き姿向上

熱間圧延製品コイルの巻き形状は、巻き取り時のエッジ耳折れ、耳割れ等の品質、次工程あるいはお客様でのハンドリング時の疵防

止の点また美観の点からも重要である。従来から巻取設備については、ラッパロール駆動の油圧化、AJC (段差制御)、巻取制御 (張力、ギャップ等) 系の改造により、品質の向上をはかってきた。しかし、ストリップの最先端、最尾端についてはフレアー (エンド幅広がり)、曲り等を含むためコイラー設備の改善のみでは完全にコントロールできない問題が残っていた。今回、コイラー直前のサイドガイドに油圧サーボ制御を導入し、板幅、板曲りを測定し、ストリップの先端から後端までガイディングして巻き取る方式を開発、実機化した<sup>9)</sup>。

Fig. 16 に設備全体概要を示すが、本体は分割型プレートガイドおよび入・出に各 1 セットの堅ローラーを有する剛性の高いロングガイドである。駆動モーターにより (板幅 +  $\alpha$ ) に設定する粗設定機能と、実板幅を検出し、板の通過位置を検出最適ガイド幅に設定する油圧サーボシリンダーによるショートストローク機能、堅ローラーの開閉機能より成る。堅ローラーガイドはステンレス、厚物等に主体的に、薄物、極低炭はプレートガイドを主体的に使う等鋼種ごとに最適使用設計している。

Fig. 17 にガイディング制御の例を示すが、ストリップ先端がガイドの中に入ると、ジグザグ閉またはショートストローク多段閉等により先端がセンタリング巻きつけされる。その後、実測板幅に応じた最適ギャップ制御によりストリップを拘束センタリングするように制御される。尾端ではフレアーに応じたギャップ制御が働きエンドを損傷することなくガイドする。このようにストリップ全長に渡って巻き取り位置のコントロールを可能にしている。この制御をベースにストリップの長手位置に応じ巻き取りパターン制御を行い、エッジの損傷を最小限にするようにしている。

この結果、Fig. 18 および 19 に示すようにコイル先端 (内巻)、

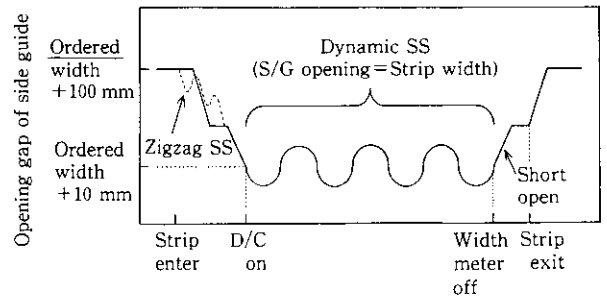


Fig. 17 Control of side guide

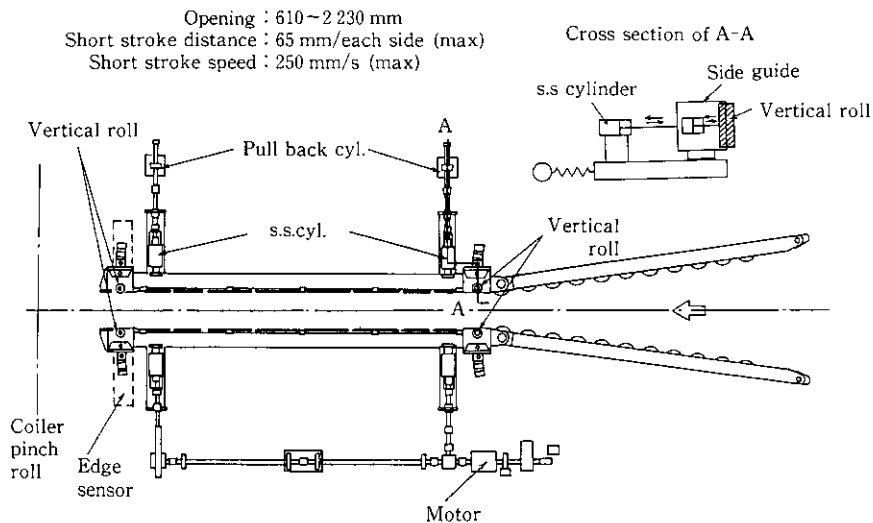


Fig. 16 General arrangement of side guide in front of the coiler

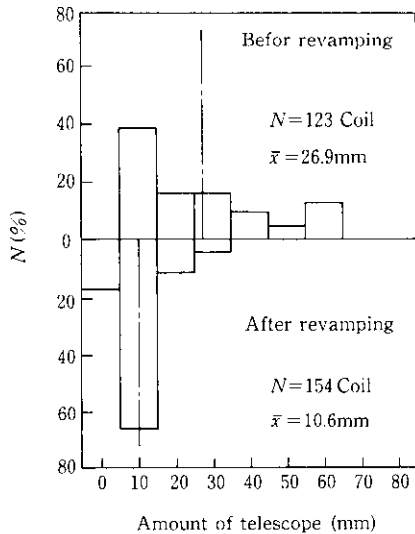


Fig. 18 Amount of telescope in hot coil

尾端（外巻）のテレスコープ量は減少し、巻き形状に起因する不良コイル発生率も 1/3 以下に減少している。

## 7 結 言

最近の熱延製品の板厚、プロフィール、材質均一化、納期等の要求の高まりに対応して、千葉製鉄所 No. 2 ホットストリップミルにおいて、仕上圧延機の後段に続く前段へのロングストロークの K-WRS, F5 への油圧圧下、蛇行制御の導入を行いクラウン・形状

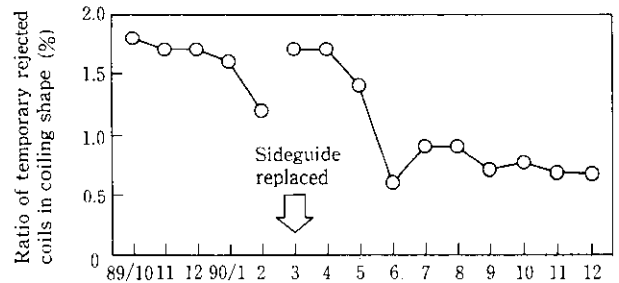


Fig. 19 Improvement in edge defect ratio by applying side guide

制御を行っている。これにより、一般材で  $25 \mu\text{m}$ 、SUS 304 で  $40 \mu\text{m}$  のクラウンを、厚み精度で  $\pm 50 \mu\text{m}$  オンゲージ率で 99.3% を達成している。また、これらの設備により熱間圧延のロールチャンスフリーの拡大をはかり、3CC からの熱片スラブの直接装入設備の導入とあいまって 110 000 t/month の直送圧延 (DHCR) を実現している。さらに、幅方向エッジ材質改善のための高容量のエッジヒーター設備、巻き姿勢向上のためのコイラ前に油圧サーボ式コイラサイドガイド設備を導入し、熱延製品の品質向上を行った。これらにより、高度の品質要求にも十分こたえうる板厚精度、プロフィール、平坦度、材質均一化および巻き取り形状の優れたホットストリップ製品を安定して製造する技術を確立できた。

今後は、本技術を発展させて、各鋼種別にさらにこまかい使用技術の拡大、レベルアップをはかってゆく予定である。また、これらの技術をベースにして、さらに新しい設備化への発展としてゆく予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 三宅裕史, 鎌田征雄, 浜田圭一, 広瀬勇次, 小川洋三, 豊島 貢: 「プロフィール・平坦度の優れた熱延鋼板製造技術の確立」, 川崎製鉄技報, 16 (1984) 4, 235-246
- 2) 田野村志郎, 菱沼 至, 足立明夫, 竹谷昭彦, 広瀬勇次, 三宅祐史: 「ステンレス鋼ホットコイルのクラウン制御」, 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 225-230
- 3) S. Onda, A. Adachi, K. Toyoshima, M. Kitahama, I. Yarita, and T. Sasaki: "Profile Control of Hot Rolled Steel Strip by shifting Wrook Roll with Tapered Crown," *Advanced Technology of Plasticity*, 2 (1984), 1366
- 4) 高島典生, 音田聡一郎, 相原正樹, 小沢 昇, 川瀬隆志, 湯沢秀行: 「仕上ミル改造工事の概要 (千葉第 2 熱延仕上ミル全スタンドワークロールシフト化 1)」, 材料とプロセス, 3 (1990) 2, 472
- 5) 笠茂利広, 高島典生, 音田聡一郎, 相原正樹, 佐久間博郎, 弓手崇生: 「ロールショップヤードへの多目的吊具の導入」, 材料とプロセス, 4 (1991) 2, 577
- 6) 音田聡一郎, 高島典生, 相原正樹, 小沢 昇, 川瀬隆志, 後藤義人: 「仕上ミル前段スタンドへの片台形ロールシフトの適用 (千葉第 2 熱延仕上ミル全スタンドワークロールシフト化 2)」, 材料とプロセス, 3 (1990) 5, 1385
- 7) 石川 孝, 歌代洋二, 相原正樹, 森 淳, 安田健二郎, 萩生田幸男, 佐藤 仁: 「千葉第 2 熱延における製鋼-熱延同期化操業の概要」, 材料とプロセス, 2 (1989) 5, 1458
- 8) 片桐秀明, 和田安弘, 森 淳, 千田敏之, 竹嶋力男, 石川 孝: 「千葉 2 ホット直送圧延自動搬送システム」, 材料とプロセス, 2 (1989) 5, 1459
- 9) 曾家幹雄, 泰野直樹, 箕浦晃司, 佐久間博郎, 片山慶則: 「コイラサイドガイドへの油圧サーボ制御の導入」, 材料とプロセス, 4 (1991) 2, 575