
千葉製鉄所 No. 3 タンデム冷間圧延機の高級鋼生産体制の確立

Establishment of a High Grade Steel Sheet Production System in Chiba Works No.3 Cold Rolling Mill

福原 明彦(Akihiko Fukuhara) 小松 富夫(Tomio Komatsu) 岸田 朗(Akira Kishida) 三本竹 一光(Kazumitsu Sanbonchiku) 長南 富雄(Tomio Chonan) 三吉 貞行(Sadayuki Miyoshi)

要旨：

千葉製鉄所第2冷間圧延工場のNo.3タンデム冷間圧延機は、一般冷延鋼板から高炭素板、ステンレス鋼板までも冷間圧延を行う圧延機である。このような多鋼種の鋼板を圧延するラインを、品質、歩留り、原単位および生産性の向上を目的として、1988年7月に完全連続化し、また1990年7月に圧延機最終スタンド増設を中心とした品質高級化対応を実現した。完全連続化に当って、高炭素鋼板、ステンレス鋼板を連続圧延するためのレーザ溶接機の開発を行った。また、品質高級化対応に当って、高い形状制御特性を有する圧延機を用いての形状制御システムの開発およびクーラントフィルトレーションシステムの構築による鋼板表面品質向上技術の開発を行った。

Synopsis：

No.3 tandem cold mill (TCM) in Chiba Works is a multi-purpose mill, whose production is ranging from the ordinary cold-rolled steel sheet to high carbon and stainless steel sheets. With the aim of improving the product quality, yield, cost, and productivity of this line, the fully continuous mill was put into operation in July 1988. To cope with high-grade quality requirements, additional improvement, mainly the installation of a final stand, was realized in July 1990. To achieve fully continuous operation, the laser welder was developed for use in the continuous rolling of a high carbon and stainless steel sheets. The shape control system using the mill with high shape-control characteristics and the strip-surface quality improvement technique based on the coolant filtration system were also established to meet the quality requirements of high-grade products.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

千葉製鉄所 No. 3 タンデム冷間圧延機の 高級鋼生産体制の確立*

川崎製鉄技報
23 (1991) 4, 286-292

Establishment of a High Grade Steel Sheet Production System in Chiba Works No. 3 Cold Rolling Mill



福原 明彦
Akihiko Fukuhara
千葉製鉄所 第2冷間
圧延部冷間圧延課 主
任部員(掛長)



小松 富夫
Tomio Komatsu
千葉製鉄所 第2冷間
圧延部冷間圧延課長



岸田 朗
Akira Kishida
阪神製造所 ステンレ
ス部長



三本竹 一光
Kazumitsu Sanbonchiku
千葉製鉄所 設備技術
部機械技術室 主査(掛
長)



長南 富雄
Tomio Chonan
千葉製鉄所 設備技術
部電気計装技術室 主
査(掛長)



三吉 貞行
Sadayuki Miyoshi
千葉製鉄所 設備技術
部電気計装技術室 主
査(掛長)

要旨

千葉製鉄所第2冷間圧延工場のNo.3タンデム冷間圧延機は、一般冷延鋼板から高炭素鋼板、ステンレス鋼板までも冷間圧延を行う圧延機である。このような多鋼種の鋼板を圧延するラインを、品質、歩留り、原単位および生産性の向上を目的として、1988年7月に完全連続化し、また1990年7月に圧延機最終スタンド増設を中心とした品質高級化対応を実現した。完全連続化に当たって、高炭素鋼板、ステンレス鋼板を連続圧延するためのレーザ溶接機の開発を行った。また、品質高級化対応に当たって、高い形状制御特性を有する圧延機を用いての形状制御システムの開発およびクーラントフィルトレーションシステムの構築による鋼板表面品質向上技術の開発を行った。

Synopsis:

No. 3 tandem cold mill (TCM) in Chiba Works is a multi-purpose mill, whose production is ranging from the ordinary cold-rolled steel sheet to high carbon and stainless steel sheets. With the aim of improving the product quality, yield, cost, and productivity of this line, the fully continuous mill was put into operation in July 1988. To cope with high-grade quality requirements, additional improvement, mainly the installation of a final stand, was realized in July 1990. To achieve fully continuous operation, the laser welder was developed for use in the continuous rolling of a high carbon and stainless steel sheets. The shape control system using the mill with high shape-control characteristics and the strip-surface quality improvement technique based on the coolant filtration system were also established to meet the quality requirements of high-grade products.

1 緒 言

最近の高級化指向に対応して、冷延製品においても、品質均一化、無欠陥化という要求が強まってきている。千葉製鉄所第2冷間圧延工場のNo.3タンデム冷間圧延機(TCM)においても、これら品質厳格化が大きな課題であった。

No.3 TCMは、1972年に稼働した圧延機であり、自動車や家庭電気製品などに用いられる一般冷延鋼板から高炭素鋼板、ステンレス鋼板までも冷間圧延する多鋼種対応の圧延機である。従来の1コイルごとの通板・尻抜き作業をとまなう圧延法では、先後端の板厚不良部は避けられず、この作業の際にワークロールに疵が入りやすく、またこの部分の鋼板形状も不安定になりやすいという問題があった。したがって、これら品質要求に応えるため、冷間圧延の連続化が指向^{1,2)}されてきた。しかしながら、多鋼種を処理するNo.3

TCMの連続化には、高炭素鋼、ステンレス鋼といった難溶接材の溶接技術および連続圧延技術の開発が必要で強く要求された。また、これら変形抵抗値の高い鋼種は難圧延材であり、これらの鋼板形状を保证するため形状制御特性に優れた圧延機を用いての形状制御システムの開発も必要不可欠であった。さらに、無欠陥化の要求に応えるため、クーラントフィルトレーションシステムの構築による鋼板表面品質向上技術の開発も必要とされた。

今回、これら技術開発を達成し、No.3 TCMの高級鋼対応を実現した。具体的には、1988年7月に完全連続化を稼働³⁾させ、プロセスコンピュータ、DDC (direct digital controller) の導入とあいまって、大幅な自動化および省力化をも達成した。また、1990年7月に圧延機最終5スタンドを稼働させ、品質高級化対応を完了した。以下に、本設備の概要および高級鋼対応にあたって開発された新技術について報告する。

* 平成3年10月14日原稿受付

2 設備概要

2.1 ライン仕様

本ラインの主仕様を Table 1 に示す。本ラインのオペレータ配置は、入側 1 人、ミル中央操作室 1 人、板面点検 1 人の合計 3 人で、高度に自動化されたラインを可能とした。本ライン全体配置を Fig. 1 に示す。

Table 1 Main specifications of No. 3 tandem cold mill

Items	Type and specifications
Coil thickness	
Entry (mm)	2.0~6.0
Delivery (mm)	0.2~3.2
Width (mm)	660~1 677
Weight	
Entry (kg)	Max. 42 000
Delivery (kg)	Max. 42 000
Speed	
Entry (m/min)	700
Delivery (m/min)	1 650
Welder	Fully automatic laser beam welder
Loop capacity of accumulator (m)	550
Mill type	
1~4 std	4 Hi
5 std	CVC6*
Mill control	Digital ASR
Flying shear	
Type	Rotary shear
Max. cutting speed (m/min)	250
Tension reels	Carousel-type tension reels

* Continuous variable crown 6 Hi

2.2 入側設備

本ライン入側には、高炭素鋼、ステンレス鋼等多鋼種および多サイズに対応するため、連続圧延機初の 10 kW の大出力を持ったレーザー溶接機を導入^{4,5)}した。溶接機の仕様を Table 2 に示す。本溶接機に求められる機能としては、自動化された大量生産ラインの溶接機として、高効率、高信頼性および高い自動化レベルである。さらに、保守性向上のため発振器を 2 台設置した。また、小コイルが多いステンレス鋼の入側段取時間短縮のため、従来 1 基であったペイオフリールを 2 基へ増設した。

Table 2 Specifications of laser beam welder

Items	Specifications
Laser beam oscillator	Type Output power Head type Laser gas
	CO ₂ laser 10 kW 2-axes high gas pressure He, N ₂ , CO ₂
Laser beam welder	Shear type Torch speed Wire feed rate Focusing system Shielding gas
	Dual cut shear Max. 10 m/min Max. 15 m/min Parabolic mirror He, Ar, He+Ar

2.3 圧延機

一般冷延鋼板から高炭素鋼板、ステンレス鋼板までを含めた板厚精度向上に対するユーザーニーズに対応するため、

- (1) 母板の板厚変動除去能力向上のための 1 スタンド高速油圧圧下へのリブレース
- (2) ミル加減速時および低速圧延時の板厚精度向上を目的とした圧延機メインモータ制御系のデジタル ASR 化
- (3) AGC デジタル化およびロール偏芯制御機能追加を主とした AGC の更新

の設備対応を実施した。

また、高炭素鋼、ステンレス鋼といった高度変形抵抗材を圧延す

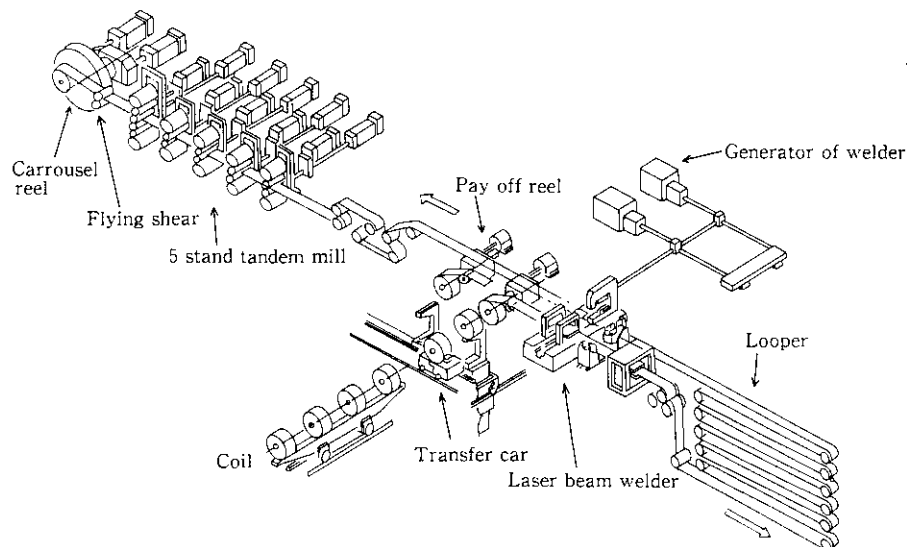


Fig. 1 Layout of the 5 stand tandem cold mill

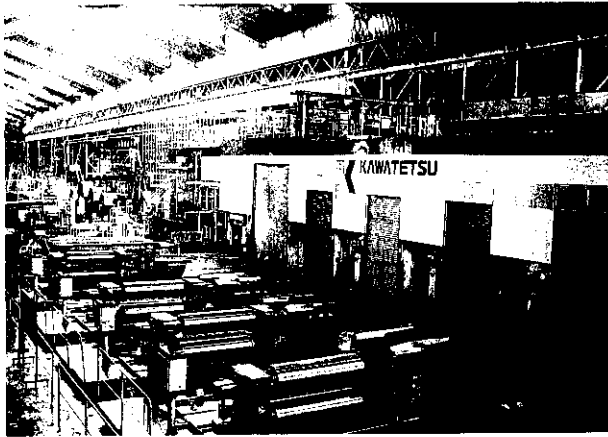


Photo 1 A view of No. 3 tandem cold mill

るため最終5スタンドミルを増設^{6,7)}した。このミル型式としては、広範囲の圧延条件下での鋼板形状を保証するため、優れた形状制御性を有する CVC 6 (continuous variable crown 6 Hi) ミルを採用した。本ミルの建設にあたっては、工事による操業停止期間を最小限にするため、事前工事でミルハウジングの据付を完了し、仮パスで通常操作を行いながらの平日工事および試運転を可能とした。さらに、全スタンド“板有リワークロール組替”を可能とし、組替時の板厚不良部削減および生産性向上を図った。圧延機の外観を Photo 1 に示す。

2.4 出側設備

圧延機出側には、ピンチロール、走間シャーおよびカラーセルタイプのテンションリールを設置し、走間分割・巻取りを可能とした。巻き取られたコイルは、出側コイルカーと出側搬送台車により搬出される。ここには、板面点検機、マーカー、結束機が設置されている。さらに、薄物コイルの座屈防止用のスプール供給装置も設置されており、これら設備は全自動化が図られている。

2.5 プロセスコンピュータシステム

本ラインは、多鋼種・多サイズの圧延板をワンマンオペレーションで圧延するものである。プロセスコンピュータシステムはその中核を担い、

- (1) 多鋼種・多サイズの圧延材に対応したセットアップモデルおよびプリセット機能の充実
- (2) プロコン、DDC、自動化機器を駆使した高度な自動化システムおよび監視機能の実現
- (3) CPT とキーボード操作によるオイルセラー自動運転システムの構築
- (4) プロセスコンピュータは自律分散システムを採用し、開発効率・信頼性を向上

等の特徴を有する。プロセスコンピュータシステム⁸⁾を Fig. 2 に、計装機器の配置を Fig. 3 に示す。

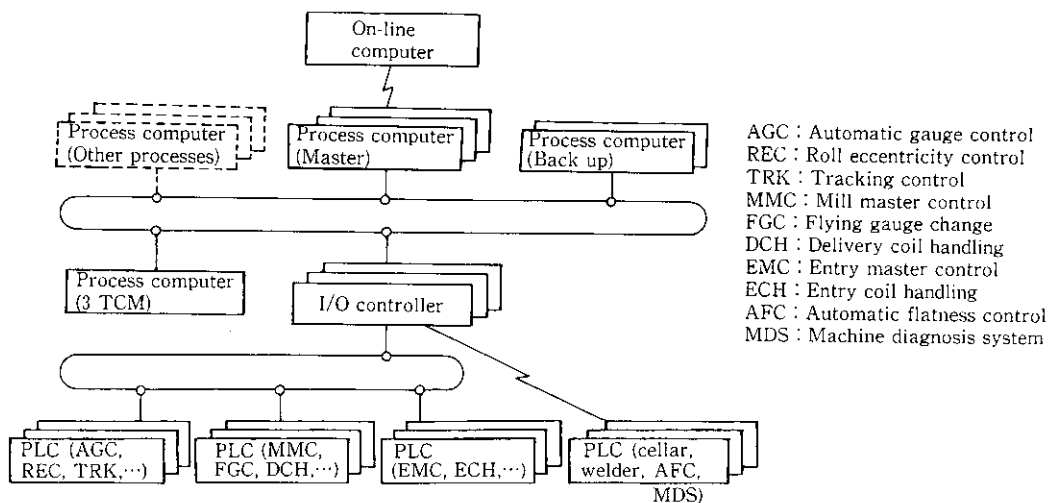


Fig. 2 Block diagram of process computer system

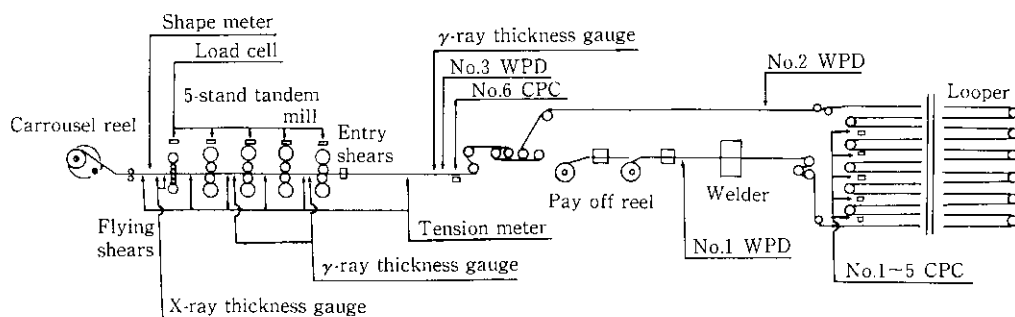


Fig. 3 Layout of instrumentation device

3 高級鋼対応のための新技術

3.1 レーザ溶接機溶接技術の開発

3.1.1 レーザ溶接機の必要性

従来、連続圧延機の溶接機としては、フラッシュバット溶接機が主流であったが、この溶接法では入熱過多により、高炭素鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼では溶接部と熱影響部の硬化、またフェライト系ステンレス鋼では結晶粒の粗大化が生じ、溶接部の脆化により溶接強度は著しく低下するという問題があった。このため、高炭素鋼、ステンレス鋼までも処理する連続圧延機の溶接機としては不適であり、新たな溶接機の導入が必要であった。この背景により、本ラインでは、加熱領域が小さく、溶接速度が速く、局部加熱・急冷が行えることが特徴であるレーザー溶接機⁹⁾を連続圧延機用として技術開発し、導入した。

3.1.2 高精度剪断技術の開発

レーザー溶接は、被溶接物へのレーザー照射径が極めて小さいことから、高精度の板突き合わせ精度が要求される。また、突き合わせ精度を再現するためには、各鋼種・板厚によって適正なシャークリアランス量で剪断することが必要である。このため、切断精度および突き合わせ精度を維持・再現するため、シャークリアランス自動調整機構を開発した。Fig. 4 にシャークリアランス自動調整機構を示す。本機構は、入・出側のホルダーを溶接方向に移動させることにより、入出個別のシャークリアランス自動調整が可能であること、剪断時はシリンダーによりホルダーをロックして剛性を高めていることを特徴としている。本機構導入の結果、全鋼種・全サイズにわたっての突き合わせ精度は、0.03 mm 以内維持可能となり、溶接強度向上に大きく貢献している。

3.1.3 高炭素鋼溶接対応

本溶接機では、溶接継手部の形状制御・突き合わせ精度の緩和および冶金学的制御を可能とするため、フィラーワイヤー供給装置を付属している。特に高炭素鋼においては、フィラーワイヤーの供給量を増し、溶接金属を希釈することにより、Fig. 5 に示すようにブローホールの発生を抑え溶接品質を向上させた。また、高炭素鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼の溶接強度を向上させるため、熱処理装置を設置している。従来の熱処理装置は溶接機外に設置しており、熱処理を行うためには溶接部の移送を要し、移送時間がサイクルタイムに加算されること、移送時の衝撃で破断が生じることなど操業上大きな問題であった。本溶接機では、熱処理装置のコンパクト化を図り、溶接時に使用するバックバーユニットとの一体化によって溶接直後の熱処理を可能とし、上記問題点に対応した。Fig. 6 に熱処理装置概略図を示す。

Fig. 6 に熱処理装置概略図を示す。

以上の高炭素鋼対応により、現在本ラインでは、炭素含有量 1.0% 以下までの高炭素鋼を工程的に処理しており、能率・歩留りの面で連続圧延効果をいかに発揮している。

3.2 自動形状制御技術の開発

3.2.1 CVC 6 ミル形状制御システムの開発

CVC 6 ミルは形状制御アクチュエータとして、ワークロール (WR) ベンダー、中間ロール (IMR) ベンダー、IMR シフト、スポットクーラントおよび圧下レベリングを有し、高い形状制御能力をもっている。この能力を有効に活用するため形状制御システムを開発^{10,11)}した。機能の体系としては、上位計算機 (プロセスコンピュータ) にて設定計算、学習計算および実績収集を分担し、下位計

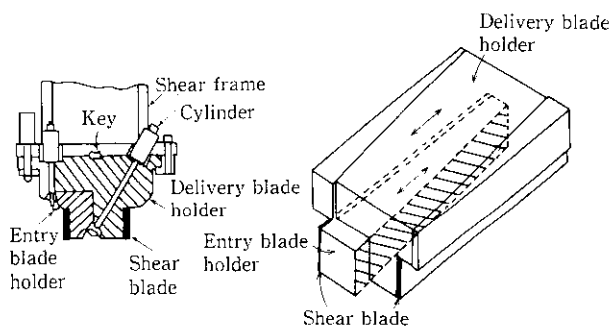


Fig. 4 Mechanism of automatic shear clearance

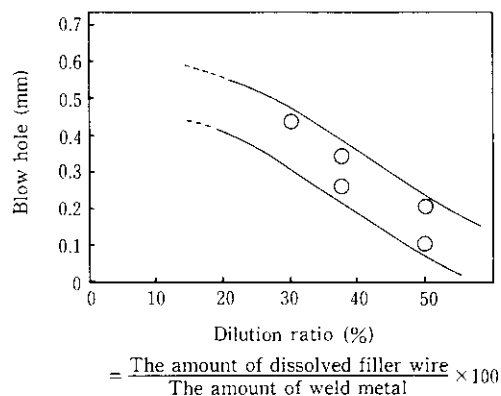


Fig. 5 Relation between dilution ratio and blow hole

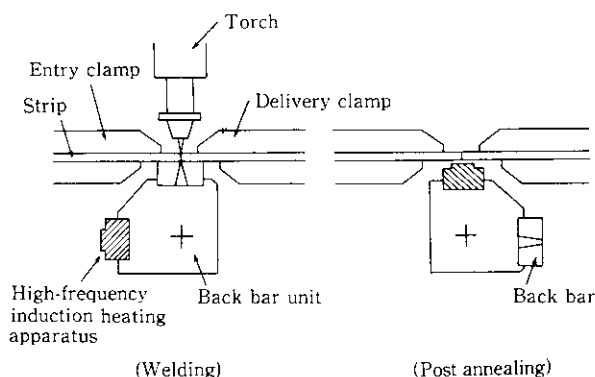


Fig. 6 Post annealing apparatus

算機 (DDC) にてミル出側の形状検出器を活用してリアルタイムのフィードバック制御を実施するものである。

形状フィードバック制御システムの構成を Fig. 7 に示す。このシステムの設計に当たっては、幅方向分割モデルを用いた形状シミュレーション結果を基に、対称成分の形状修正を行うアクチュエータの機能分担を以下のようにした。

(1) IMR ベンダー

形状変化傾向が 4 Hi ミルの WR ベンダーに似ていることから、単純伸び制御に用いる。

(2) WR ベンダー

IMR ベンダーと比較して板幅端部に影響する傾向にあり、IMR ベンダーとの形状変化傾向の違いを利用して IMR ベンダーとの組み合わせによる複合伸び制御に用いる。

(3) IMR シフト

3 次曲線の CVC カーブを IMR に付けており、IMR シフト

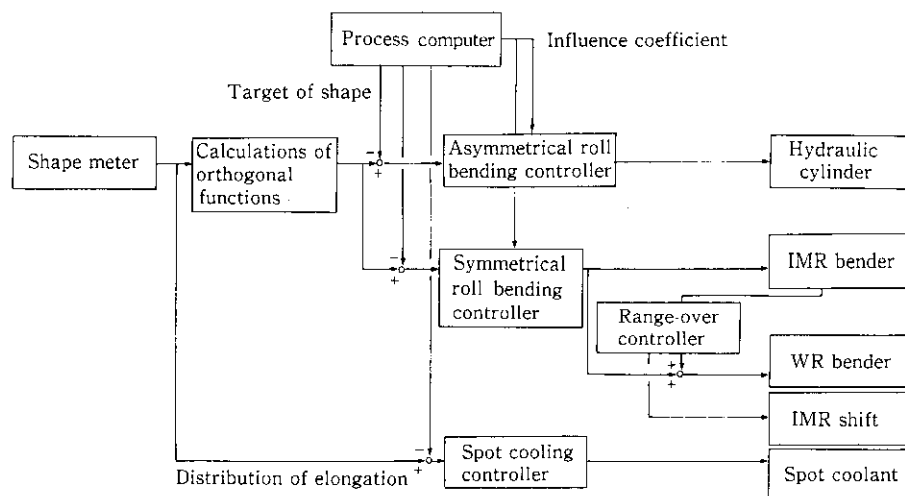


Fig. 7 Block diagram of shape control system

量に応じて IMR クラウンを連続的に変化させることが可能である。IMR ベンダーと形状変化傾向が似ており、より応答の早いアクチュエータである IMR ベンダーが有効に動作する範囲に保つよう、レンジオーバー的に使用する。

3.2.2 実機への適用結果

実機形状制御性について、Fig. 8 に CVC 6 ミル導入以前の 4 Hi ミルとの比較を示す。本システムにより、全圧延材の約 80% が急峻度 0.5% 以内に制御可能となった。さらに、従来の 4 Hi ミルでは、形状制御能力を補うため WR カーブの変更が必要であったが、CVC 6 ミルでは全鋼種・全サイズにわたって WR カーブの統一が可能となり、生産性の向上と保有 WR 数削減に大きく貢献した。また、IMR についても適正な CVC カーブを付けることにより、全鋼種にわたって 1 種類のカーブへの統一が図れた。Fig. 9 は、約 3 000 t 処理する一つの圧延サイクル内での IMR シフト量実績を示

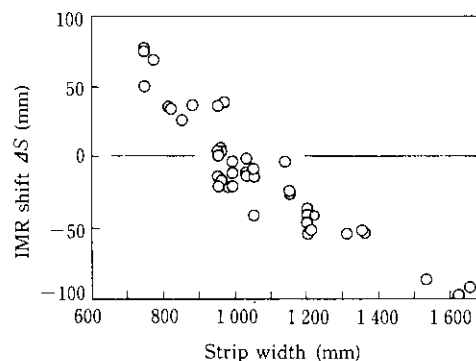


Fig. 9 Characteristics of IMR shift (actual measurement)

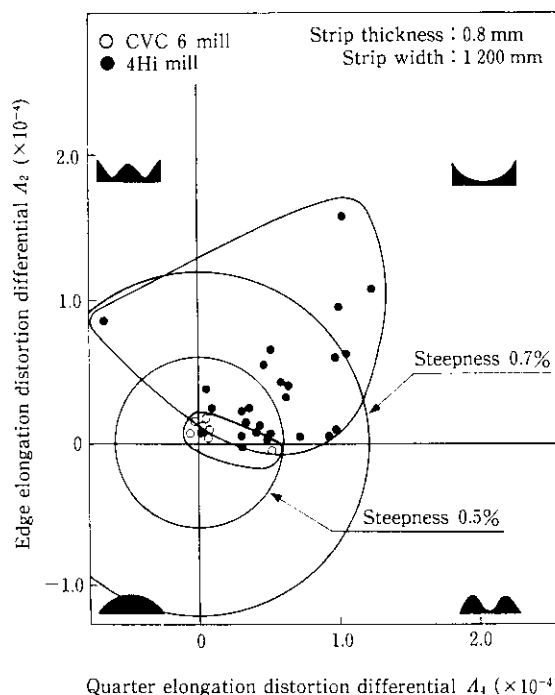


Fig. 8 Comparison of strip flatness by CVC 6 mill and 4 Hi mill

したものである。

3.3 表面品質向上技術の開発

3.3.1 表面品質向上技術の開発

高鮮映性鋼板¹²⁾や表面処理鋼板の増加にともない、ロールマーク等の表面欠陥の無いコイルを安定圧延するニーズがますます高まってきた。このニーズに対応するため、完全連続化により通板、戻抜け時に発生するロールマークを大幅に減少させたが、さらにクーラントの汚染に起因するロールマーク発生を防止するため、フィルトレーションシステムの構築¹³⁾が必要であった。このシステムの設計にあたって種々の検討を行ったが、その一つとしてクーラント中の異物分析を行った結果、異物は以下の 3 種に分類された。

- (1) 圧延材表面より発生する鉄粉
- (2) 鉄摩耗粉と圧延油の反応により生成される有機鉄（鉄石けん）
- (3) 圧延機入側の樹脂性補助ロールの摩耗により発生する繊維状異物

このため、フィルトレーション設備として、磁性体である鉄粉を除去する電磁フィルターとその他の非磁性体である異物を除去するフラットベッドフィルターの組合せを採用した。Fig. 10 にフィルトレーションシステムを、Table 3 に各フィルターの仕様を示す。フラットベッドフィルターは、全量ろ過のためのろ流量としてミルへ循環するクーラント流量以上の大容量が必要であるが、加圧ろ過のためのろ面積をコンパクトにできることが特徴であり導入した。

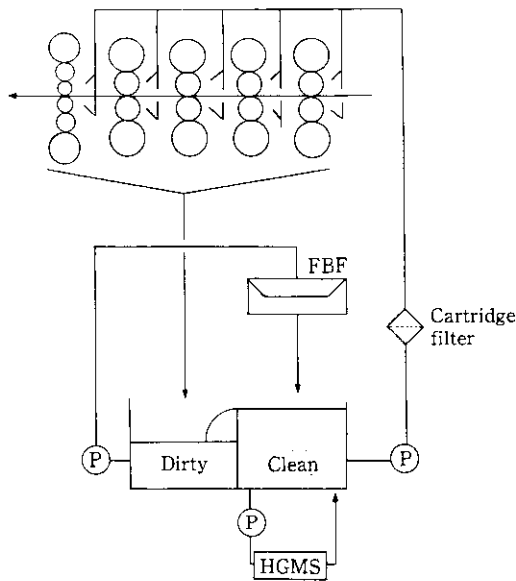


Fig. 10 Full flow filtration system with high gradient magnet separator (HGMS) and flat bed filter (FBF)

Table 3 Specifications of high gradient magnet separator (HGMS) and flat bed filter (FBF)

HGMS	Flow rate (m ³ /min)	7
	Diameter of media (m)	φ 1.2
	Magnetic flux density (T)	0.5
FBF	Flow rate (m ³ /min)	30
	Opening size (μm)	150
	Filtration area (m ²)	15

3.3.2 フィルトレーション設備の実機性能

電磁フィルター導入の効果として、Fig. 11 に電磁フィルター導入前後の圧延後板面清浄度の比較を示す。評価方法は板面テープチェック結果を L 値色差計で測定したものであるが、電磁フィルター導入によりクーラント中の鉄分量が大幅に低減し、板面清浄度は約 5 ポイント向上した。また、フラットベッドフィルター導入の効果として、Fig. 12 にフィルター入・出側のクーラント中異物の粒

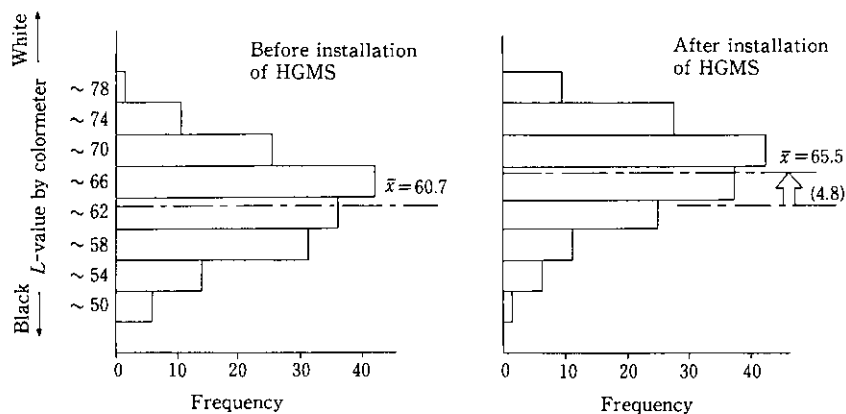


Fig. 11 Effect of HGMS on strip surface cleanliness after cold rolling

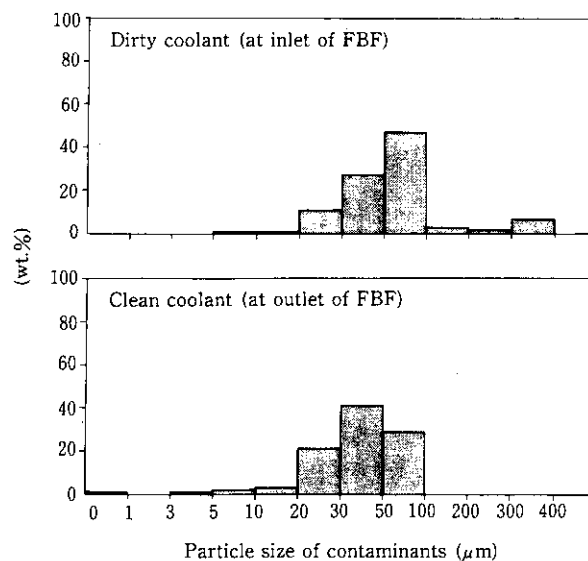


Fig. 12 Particle size distribution of contaminants in coolant

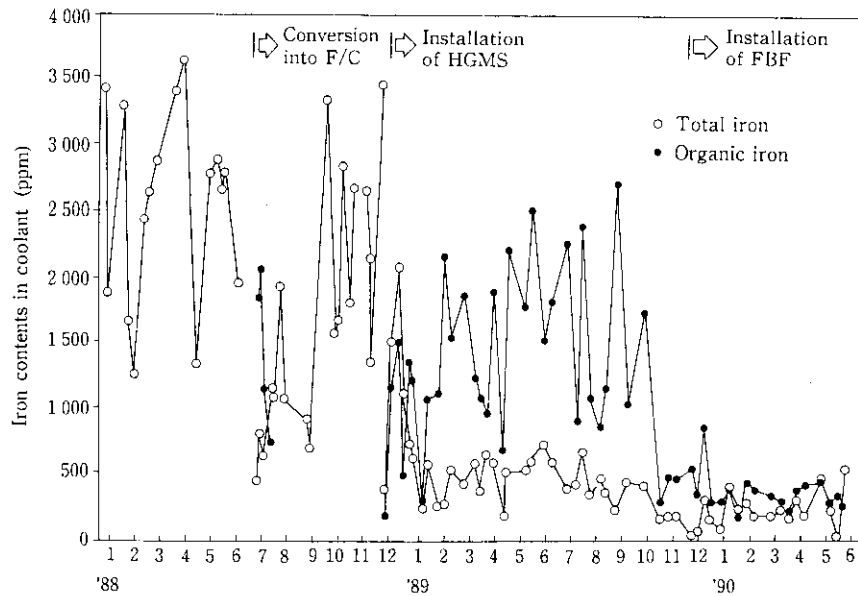


Fig. 13 Trend of total iron and organic iron contents in coolant

径分布を示す。粒径 $100\ \mu\text{m}$ 以上の異物は全量、また $50\ \mu\text{m}$ 以上の異物もろ過の効果により一部除去可能であった。以上のフィルトレーション設備稼働前後のクーラント中の全鉄分濃度および有機鉄（鉄石けん）対油濃度の推移を Fig. 13 に示す。電磁フィルターにより全鉄分濃度を、また、フラットベッドフィルターにより有機鉄対油濃度を、各々 $500\ \text{ppm}$ 以下に低減させることが可能となり、ロールマークによるワークロール替回数の削減（従来の 43% 減）が達成できた。さらに、クーラント中の汚染物質が効率的に除去されるようになり、圧延油の乳化に対する外乱因子が少なくなったため、乳化状態は従来に比べ飛躍的に安定化し、ヒートスクラッチ、スリップ等の潤滑に関するトラブルも激減した。

4 結 言

千葉製鉄所における多鋼種対応冷間圧延機の完全連続化および品質高級化対応の概要を紹介した。本ラインは、時代の要請に応じた高品質、高歩留り、高生産性を達成するものである。今回の設備改造に当っては、一般冷延鋼板だけでなく高炭素鋼、ステンレス鋼までもターゲットとし、レーザ溶接機溶接技術、自動形状制御技術、鋼板表面品質向上技術などの技術開発を行った。本ラインは、順調に稼働し期待された効果を発揮しており、今後の品質厳格化のニーズに充分対応できる体制が確立できた。

参 考 文 献

- 1) 岸田 朗, 手柴東光, 井田幸夫, 坂本軍司, 御野 尚, 鑑田征雄: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 2, 154
- 2) 小松富夫, 菅沼七三雄, 江藤考治, 内藤 肅, 土井克彦, 広畑和宏: 川崎製鉄技報, 18 (1986) 3, 243
- 3) 小林泰夫, 小松富夫, 三本竹一光, 長南富雄, 三吉貞行: 材料とプロセス, 2 (1989) 2, 466
- 4) 小山忠幸, 小松富夫, 緑川雅之, 河合義人, 小林泰夫: 材料とプロセス, 3 (1990) 2, 463
- 5) 河合義人, 中原久直, 横沢二男, 緑川雅之, 小松富夫, 小林泰夫: 川崎製鉄技報, 20 (1988) 3, 236
- 6) 三本竹一光, 長南富雄, 三吉貞行, 小松富夫, 福原明彦, 河澄英輔, 鑑田征雄, 剣持一仁: 材料とプロセス, 4 (1991) 2, 528
- 7) 福原明彦, 小松富夫, 河澄英輔, 三宅英徳, 岸田 朗, 井口弘明: 材

- 料とプロセス, 4 (1991) 2, 529
- 8) 三吉貞行, 井口弘明, 長南富雄, 河澄英輔, 小林泰夫, 小松富夫: 材料とプロセス, 2 (1989) 5, 1554
- 9) 河合義人, 相原正樹, 石井功一, 田淵 衛, 佐々木弘明: 川崎製鉄技報, 16 (1984) 1, 53
- 10) 齊藤輝弘, 大西建男, 小松富夫, 三吉貞行, 北村秀樹, 北浜正法: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 1, 19
- 11) 三吉貞行, 小松富夫, 齊藤輝弘, 森 賢嗣, 小寺嘉一: 三菱電機技報, 64 (1990) 12, 44
- 12) 古川九州男, 角山浩三, 今中 誠, 岸田 朗, 山田恭裕, 恒川裕志: 川崎製鉄技報, 20 (1988) 3, 203
- 13) 河澄英輔, 小松富夫, 北村秀樹, 松本正次, 井口弘明, 長田雅史: 材料とプロセス, 3 (1990) 5, 1357