
極薄冷延鋼板の製造技術の改善

Technical Improvement in Producing Ultra-thin Cold Rolled Strip

中里 嘉夫(Yoshio Nakazato) 柳島 章也(Fumiya Yanagisima) 田宮 稔士(Toshio Tamiya) 手柴 東光(Toko Teshiba) 久々湊 英雄(Hideo Kuguminato) 荒木 卓也(Takuya Araki) 藤原 俊二(Shunji Fujiwara)

要旨：

千葉製鉄所では、ぶりき原板や亜鉛めっき原板などの極薄冷延鋼板を高品質で経済的に安定生産ができるように種々の改善を進めてきた。(1) 冷間圧延機については、キースレスベアリング、油圧圧下 BISRA-AGC、ロール偏心制御、6重式圧延機など、新規開発あるいは新技術の採用を行い板厚精度は従来の $\pm 2.25\%$ から $\pm 0.7\%$ に向上し平坦度も大幅に改善された。また、生産効率の高いハイブリッド圧延油供給方式を開発した。(2) 圧延素材は平坦度および冷間圧延性の改善をはかるために軟質した。(3) 調質圧延機については、鋼板表面粗度が小さく、平坦度に優れた鋼板に仕上げる技術の開発を図った。

Synopsis：

At Chiba Works, many kinds of technical improvement have progressed which permitted economical and stable production of ultra-thin cold rolled steel sheet for tinplate and galvanized sheets with high quality: (1) In tandem cold mills, "Keyless bearing", hydraulic push-down BISRA-AGC, roll eccentricity control and 6-Hi mill were adopted for improving gage accuracy and flatness. Moreover the highly efficient rolling lubricant providing method, "Hybrid system", was established. (2) Through hot rolling at low finishing temperature, the material was made softer so that easy cold rolling and good flatness would be attained. (3) In skinpass rolling, both brightness and flatness of strip were improved by selection of suitable roughness of the work roll surface.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

極薄冷延鋼板の製造技術の改善

Technical Improvement in Producing Ultra-thin Cold Rolled Strip

中 里 嘉 夫*

Yoshio Nakazato

柳 島 章 也**

Fumiya Yanagishima

田 宮 稔 士***

Toshio Tamiya

手 柴 東 光****

Toko Teshiba

久々湊 英 雄*****

Hideo Kuguminato

荒 木 卓 也*****

Takuya Araki

藤 原 俊 二*****

Shunji Fujiwara

Synopsis:

At Chiba Works, many kinds of technical improvement have progressed which permitted economical and stable production of ultra-thin cold rolled steel sheet for tinplate and galvanized sheets with high quality:

- (1) In tandem cold mills, "Keyless bearing", hydraulic push-down BISRA-AGC, roll eccentricity control and 6-Hi mill were adopted for improving gage accuracy and flatness. Moreover the highly efficient rolling lubricant providing method, "Hybrid system", was established.
- (2) Through hot rolling at low finishing temperature, the material was made softer so that easy cold rolling and good flatness would be attained.
- (3) In skinpass rolling, both brightness and flatness of strip were improved by selection of suitable roughness of the work roll surface.

1. 緒 言

千葉製鉄所冷延部門においては、需要が大きいにもかかわらず、製造がむずかしいぶりきやティンフリー鋼板およびフルハード亜鉛めっき原板など、極薄冷延鋼板を高品質で、経済的に安定生産ができるように種々の改善を進めてきた。

ぶりき缶容器の塗装、印刷および製缶法では、いろいろな技術改善が進むにしたがって、それに

対応できるぶりきが要求された。たとえば、板厚精度や平坦度が優れているもの、あるいは板面粗度が小さくて平坦度に優れているものがあった。一方、フルハード亜鉛めっき原板はタンデムミルでも板厚0.15mm以下の箔の分野のものまで冷間圧延を行うようになってきた。フルハード亜鉛めっき原板は焼きなましを施さないで、硬質のままめっき成品に仕上がるが、硬質のため冷間圧延以後の工程で形状矯正を行うことがむずかしい。したがって、冷間圧延で平坦度に優れた鋼帯を製

* 千葉製鉄所冷間圧延部部长
 *** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査（課長）
 ***** 千葉製鉄所管理部冷延管理室
 ***** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室
 （昭和57年5月21日原稿受付）

** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査（課長）
 **** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査（掛長）
 ***** 千葉製鉄所設備部設備技術室

造することが要求された。

本報では、以上のような品質要求に対して、冷間圧延機および調質圧延機の設備や操業技術の新規開発、あるいは新技術の採用、素材の改善などを進めてきた結果、高生産性を維持しながら、板厚精度や平坦度の改善がはかれたので以下に述べる。

2. 板厚精度の向上

千葉製鉄所第1冷間圧延工場の6スタンドタンデムミル（以下6 Tと略記）は極薄鋼板の冷間圧延を行う主要ミルで、圧延材はその用途上、高い板厚精度が要求される。そこで、6 Tで高い板厚精度を有する極薄鋼板を得るために行ってきた設備改造とその効果について以下に述べる。

6 Tが稼動した（昭和38年5月）当初の板厚制御は次の2ループで構成されていた。

(1) No.1 スタンド（以下1 stdと略記）出側の厚み計で板厚偏差を検出し、偏差に応じて1 std 電動圧下位置を制御する。その結果を再び厚み計で検出し、まだ偏差が大きければさらに圧下位置を制御する。すなわち、板厚偏差の検出と圧下位置制御による板厚制御とを交互に繰り返すサンプリング制御方式で、これらを総称して電動圧下サンプリングAGCと呼んだ。

(2) また、仕上板厚を保証するためにもう一つのAGCループがあった。その方式は6 stdでは鋼板の板厚が薄く硬質化しているため、圧下制御を行っても板厚はほとんど変動しないので、速度を制御して張力を変化させて板厚を管理するものである。6 std出側の厚み計で板厚偏差を検出し、その積分量に応じて6 std圧延速度を制御する。この結果、6 std後方張力が変化し、板厚偏差が修正される。

以上の二つのAGCループは当時としては最新のものであって、板厚精度は $\pm 2.25\%$ （仕上げ板厚0.3mmで $\pm 6.8\mu\text{m}$ ）で管理することができた。しかし、需要家からの厳しい板厚精度要求には答えることがむずかしくなった。

まず、昭和50年、バックアップロール（以下BURと略記）胴部と軸受部とを固定するためのキーを軸受、受圧部からなくした、いわゆるキーレスベ

アリングを開発し、BUR軸受に採用した¹⁻⁴⁾。キーが受圧部からなくなったので、ロール1回転での偏心率、すなわち、圧下位置変動が著しく減少し、板厚精度は $\pm 1.87\%$ （同上、 $\pm 5.6\mu\text{m}$ ）に管理できるように向上した。

さらに、板厚精度の向上をはかるために、板厚制御の操作端である各stdの圧下位置変化、および各stdの速度変化の6 std出側板厚への影響を調査した。その結果、1 stdの圧下と速度、および6 stdの速度変化の影響が大きいことがわかった。したがって、これらの因子を細かく制御できれば、精度よく板厚を管理することができる。そこで、昭和53年11月に1 std圧下位置制御の応答性を速め、板厚制御精度の向上を図るため、圧下方式を電動圧下から油圧圧下に改造した⁵⁻⁶⁾。圧下の応答性は0.3Hzから17.5Hz（ただし3 dBダウン）へと著しく向上した。また、板厚制御方式も前記サンプリングAGCからゲージメーターAGC（通称BISRA-AGC）に更新した。BISRA-AGCは圧延中の鋼板の厚み変動を圧延荷重変動として検出し、この値から圧下位置変化量を求め、この補正を圧下位置制御で行い、板厚変動をなくす方式である。

また、圧延荷重変動を正確に検出するため、ロードセルもステップ応答37msタイプから、3msタイプに更新した。また、目標板厚からのずれを補正するため1 std出側厚み計で検出した板厚偏差を積分し、圧下位置制御を行うモニターAGCも同時に採用した。1 std出側厚み計もデジタル方式の γ 線厚み計にリプレースし、板厚偏差の検出精度の向上を図った。以上の結果、板厚精度は $\pm 1.0\%$ （同上 $\pm 3\mu\text{m}$ ）で管理できるようになり、飛躍的に向上した。

さらに、電気設備の更新と速度制御精度向上による板厚精度向上を図るため、圧延機の主電動機および発電機の界磁制御系を多段増幅器からサイリスタに更新し、かつ従来の電圧制御（Automatic voltage regulator）方式から、速度制御（Automatic speed regulator）方式に改造した（昭和54年12月）。そして、昭和55年3月に6 stdの速度AGCをデジタル（Direct digital control）化し、制御精度の向上を図った。また、同時に1 stdの厚み計もデジタル方式に更新した。一方、1 std

の速度制御による板厚精度向上対策として、1 std の出側厚み計で検出した板厚偏差を2std直前までトラッキングし、2 stdに到達した時点で1 std の圧延速度を制御し、1, 2 std間張力を変化させ、2 std 出側で目標板厚が得られるように制御するフィードフォワード速度 AGC を採用した。これらの改造により、板厚精度は $\pm 0.9\%$ (同上 $\pm 2.7\mu\text{m}$) で管理できるようになった。

しかし、よりいっそうの向上を図るため、昭和56年6月にロール偏心制御を導入した⁷⁻⁸⁾。1 std の荷重変動には入側板厚によるものと、ロール偏心によるものとが含まれているが、BISRA-AGC は両者の荷重変動の総和を入側板厚変動のみによるものと認識して制御を行うため、ロール偏心による荷重変動分が板厚制御の誤差になっていた。ロール偏心制御は BUR 1 回転に対応して周期的に発生する荷重変動を電気的に検出し、圧下を制御してロール偏心の影響を除去するものである。ロール偏心を除去することにより、圧延荷重変動は入側板厚変動のみになり、BISRA-AGC の制御ゲインを高めた、いわゆる高ミル定数 (たとえば $10\,000\text{tf/mm}$) での圧延が可能となった。このロール偏心制御の効果を圧延チャートの一例で Fig. 1

に示す。1 std の出側板厚偏差に着目すると、使用しなかった場合はピーク、ピークで $22\mu\text{m}$ あったものが、使用したことにより $10\mu\text{m}$ になり、1/2 以下に、また、6 std 出側板厚偏差も $1\mu\text{m}$ 減少し、制御効果が十分認められた。さらに制御効果を確認するために各板厚偏差信号を周波数解析した結果を Fig. 2 に示す。ロール偏心制御により BUR の偏心周波数成分 (この例では 0.83Hz) が完全に除去されていることがわかる。

また、新しく速度制御によるロール偏心制御も考案、実用化した。これは上、下 BUR の径差により圧延荷重変動が一定周期で大きくなったり、小さくなったりする特性に注目し、常にその最小荷重変動位置で圧延ができるように上または下 WR 速度を制御する方式である (Fig. 3 参照)。

以上述べた各種改造 (Table 1 参照) により1std 圧下制御系は、キールスベアリング、油圧圧下 BISRA-AGC、ロール偏心制御となり、ほぼ完全な制御系になった。また、6 T 全体の板厚制御システムの現状を Fig. 4 に示すが、このシステムにより圧延材の板厚精度は世界のトップレベル ($\pm 0.7\%$ 、仕上げ板厚 0.3mm で $\pm 2.1\mu\text{m}$) に達した。

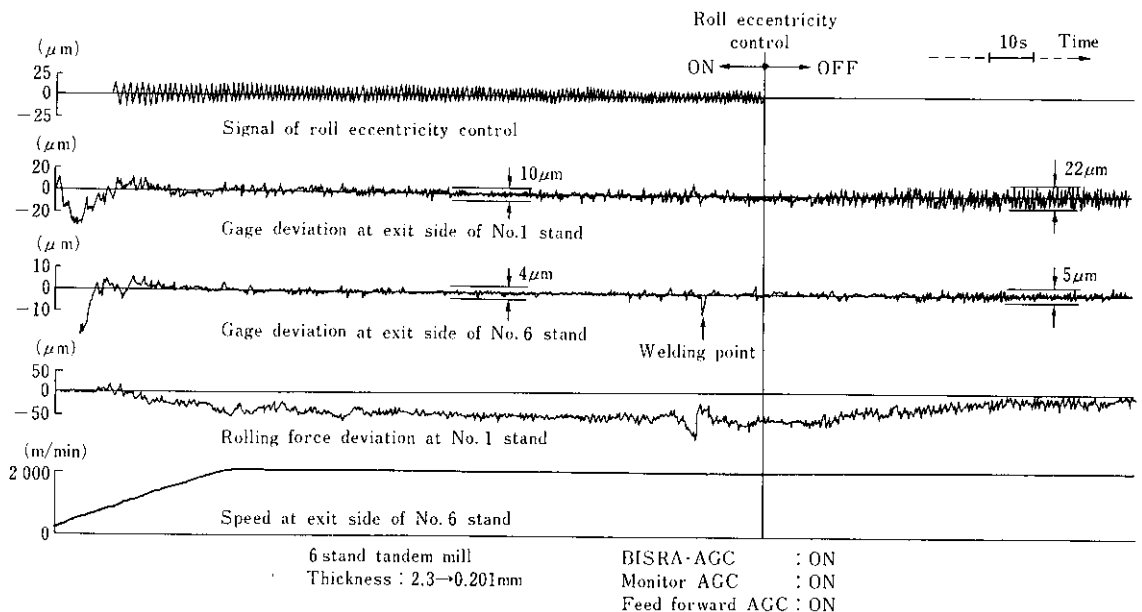


Fig. 1 Effect of roll eccentricity control on gage deviation

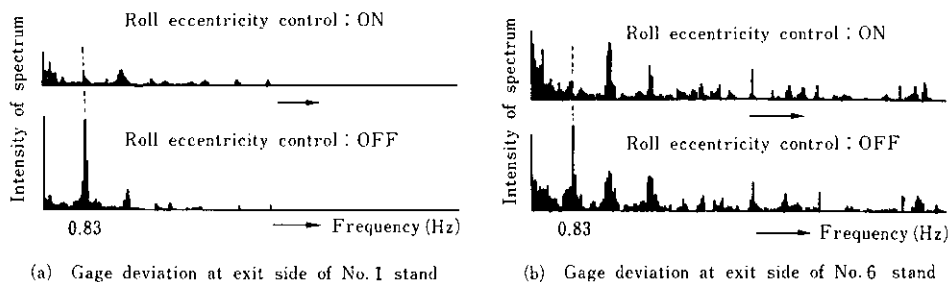


Fig. 2 Results of frequency analysis

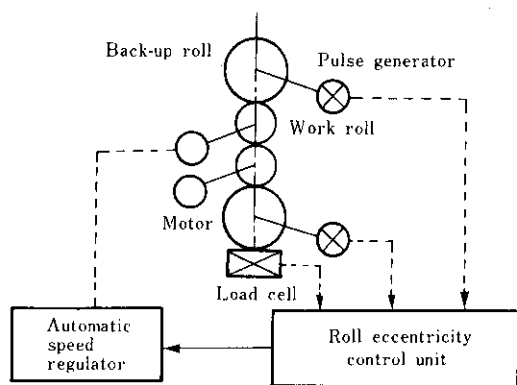


Fig. 3 Diagram of roll eccentricity control system

3. 熱間圧延条件の改善

極薄冷延鋼板を冷間圧延するさいの問題点は冷間圧下率が高く、圧延荷重が増加して、ロールの曲りが顕著になり、板幅端部に荷重が集中して耳伸が発生することである。また、塑性加工熱の増大により、ヒートストリーク⁹⁻¹¹⁾と呼ばれる焼付き欠陥が発生してロール交換頻度が高くなることの2点があげられる。このような問題の解決は冷間圧延技術に負うところが多いが、素材の改善も重要である。素材としては、幅方向では圧延荷重が集中する端部が硬質で伸びが小さく、中央部が

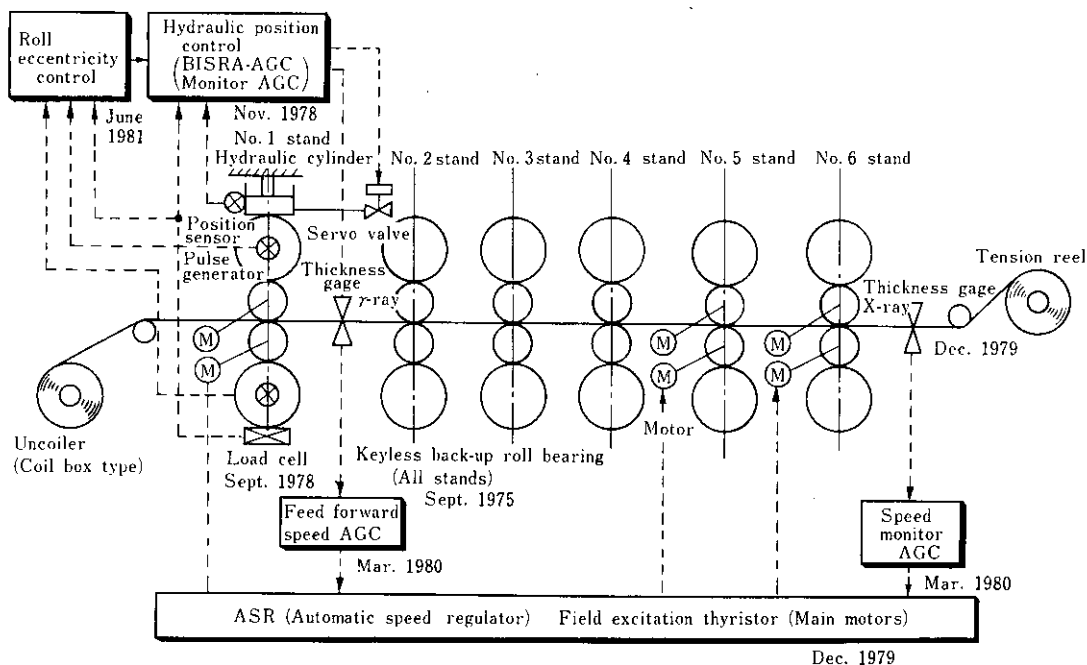


Fig. 4 Schematic diagram of gage control system at 6 stand tandem cold mill

Table 1 Reconstruction items for improving gage accuracy (6 stand tandem mill at Chiba Works)

Date	Item of reconstruction	Gage accuracy
May 1963	(1) Electric screw-down (All stands) (2) Sampling AGC (No.1 stand) (3) Speed AGC (No.6 stand)	$\pm 2.25\%$ ($\pm 6.8\mu\text{m}$ at 0.3mm)
Sept. 1975	(1) Keyless back-up roll bearing (All stands)	$\pm 1.87\%$ ($\pm 5.6\mu\text{m}$ at 0.3mm)
Sept. 1978	(1) Load cell (No.1 stand)	$\pm 1.0\%$ ($\pm 3.0\mu\text{m}$ at 0.3mm)
Nov. 1978	(2) Thickness gage with digital γ -ray system (Exit side of No.1 stand)	
	(3) Hydraulic push-down (No.1 stand)	
	(4) BISRA AGC + Monitor AGC (No.1 stand)	
Dec. 1979	(1) Field excitation thyristor (Main motors)	$\pm 0.9\%$ ($\pm 2.7\mu\text{m}$ at 0.3mm)
Mar. 1980	(2) ASR (Automatic speed regulator)	
	(3) Digital speed AGC (No.6 stand)	
	(4) Digital feed forward AGC (No.1 stand)	
	(5) Thickness gage with digital X-ray system (Exit side of No.6 stand)	
June 1981	(1) Roll eccentricity control (No.1 stand)	$\pm 0.7\%$ ($\pm 2.1\mu\text{m}$ at 0.3mm)

逆に軟質で圧延荷重が小さい状態で冷間圧延ができて、しかも鋼帯全長がこのような材質分布を有しているものが適している。このような素材を製造するためには、化学成分が均質な連铸材を使うことが適している。しかし、連铸材を通常の温度で熱間圧延を行ったものは硬質で、冷間圧延性に劣るといわれていた¹²⁾。

平坦度および冷間圧延性に優れた極薄冷延鋼板を連铸材から製造するための条件を検討した結果、熱間圧延仕上温度を低くすることなどの手段によって得ることができ、品質の向上が図れるとともに、省エネルギーにも役立つことがわかったので、以下に示す。

3.1 実験法

連铸スラブは、軟質な熱延板を得るのに適している、Al含有量の少ないソフトキルド鋼を用い、板厚2.0mmに熱間圧延を行った。熱延仕上温度(FT:finishing temp.)は A_{r3} 変態点以上の γ (オーステナイト)単相領域で高温(880°C)と中温(820°C)で完了させたもの、および A_{r3} 変態点以下の $[\alpha$ (フェライト)+ γ]共存領域の低温(770°C)で完了させたものの3水準、巻取温度(CT:coiling temp.)はいずれも580°Cとした。空冷後、供試材を採取し、幅方向の硬度分布、降伏応力および幅

端部と中央部のフェライト組織を調べ、平坦度や冷間圧延性との関係を比較した。続いて、6Tで0.15mmに冷間圧延を行って、冷間圧延性を材料1t圧延するのに要する圧延消費エネルギー(HHT:horsepower·h/t)を求めて比較した。また、低FT材については、ロールカーブは通常の凸形状のものと平坦なものを使って比較した。

3.2 冷間圧延性の改善

冷間圧延性(HHT)に及ぼす降伏応力とFTとの関係をFig. 5に示すが、HHTは、降伏応力が低い素材では小さいという関係があり、低FT材が最も小さくなった。また、低FT材は2200m/minの高速圧延においても焼付きの発生は見られなかった。熱延板のフェライト組織をPhoto. 1に示すが、低FT材の粒径は中、高FT材より粗大化しており、これが材質軟化の原因となった。粒径粗大化の理由は以下のように説明できる。高FT材は、熱間仕上圧延機の最終スタンドで圧延された後、 γ が再結晶し、温度の低下にともなって γ が α への変態を起こす。これを巻き取ると自己焼鈍で粒成長は進むが、細粒になる。一方、低FT材は γ は前記過程を経るが、 α は単に歪焼なまし(strain-annealing)が起こる。すなわち、最終スタンドで軽圧下の熱間加工を与えて巻き取ると焼

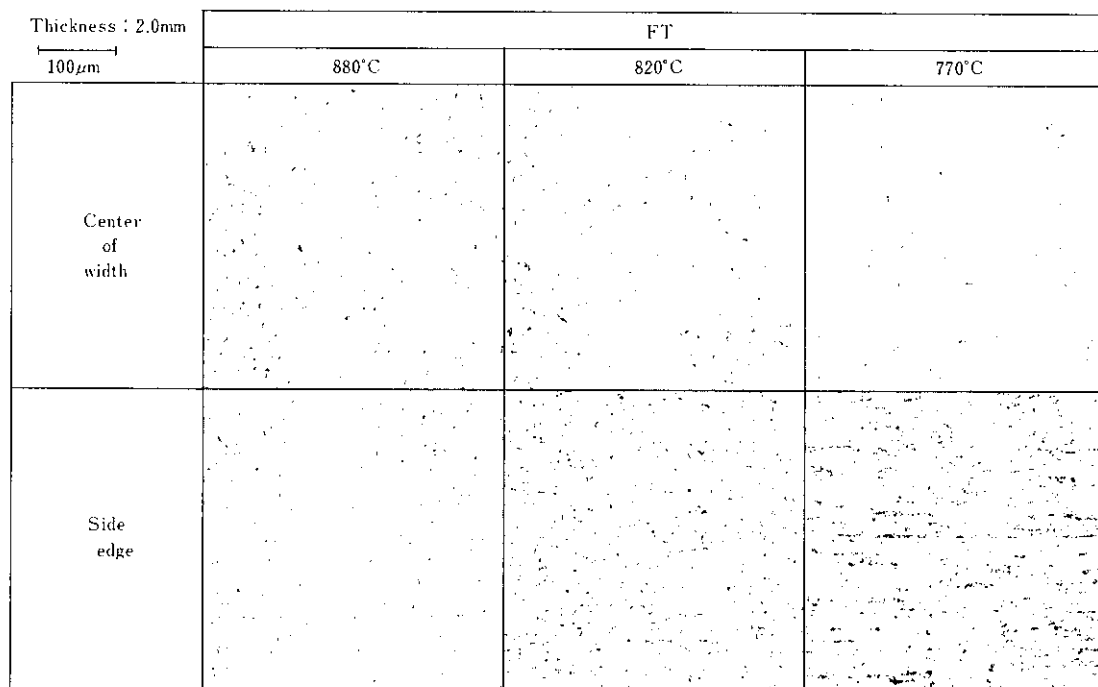


Photo. 1 Microstructure of hot rolled strip in relation to finishing temperature

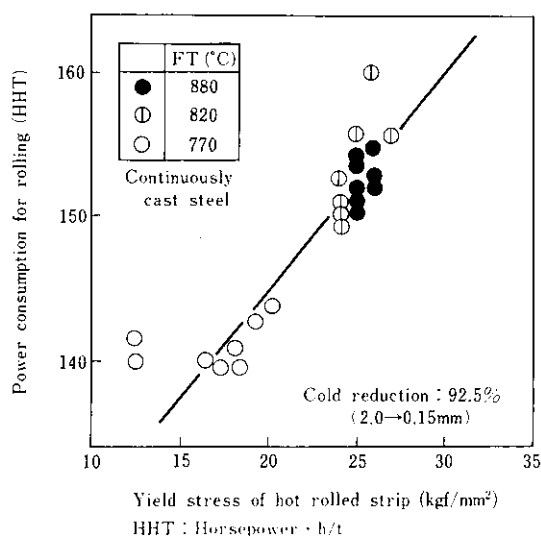


Fig. 5 Relation between necessary power for rolling in 6 stand tandem cold mill and yield stress of hot rolled strip

きなましが進み、粒径は粗大化する。

3・3 平坦度の改善

冷間圧延後の耳伸、腹伸に及ぼす FT と冷間圧

延機のロールカーブの影響を Fig. 6 に示す。耳伸、腹伸は FT により大きく変わり、さらに、低 FT 材ではロールカーブの影響も見られた。すなわち、凸形状のロールカーブを採用すると、低 FT 材の場合は耳伸は小さいが腹伸が大きく、中 FT 材は腹伸は小さいが耳伸が大きく、高 FT 材の場合は耳伸、腹伸とも小さくなった。しかし、ロールカーブを平坦にして低 FT 材を圧延すると、腹伸が小さくなるとともに耳伸はさらに改善された。この理由は、以下のように説明される。

熱延板幅方向の硬度分布を Fig. 7 に示す。低 FT 材の硬度は凹分布である。この原因は、板幅中央部では粒径が大きく軟質になるが、端部は熱間圧延時に熱放散が大きく材料温度が低下して熱延加工組織が残って硬質化したためである。このような硬度分布を有する素材を凸形状のロールで冷間圧延を行うと、軟質で伸びやすい中央部はより大きく伸びて腹伸になるが、平坦なものを使うと腹伸が改善される。

中 FT 材の硬度は凸分布である。これは中央部が γ 領域で熱間圧延が行われた細粒組織で硬質に、端部は前述のように温度が低下して $(\alpha + \gamma)$ 領域

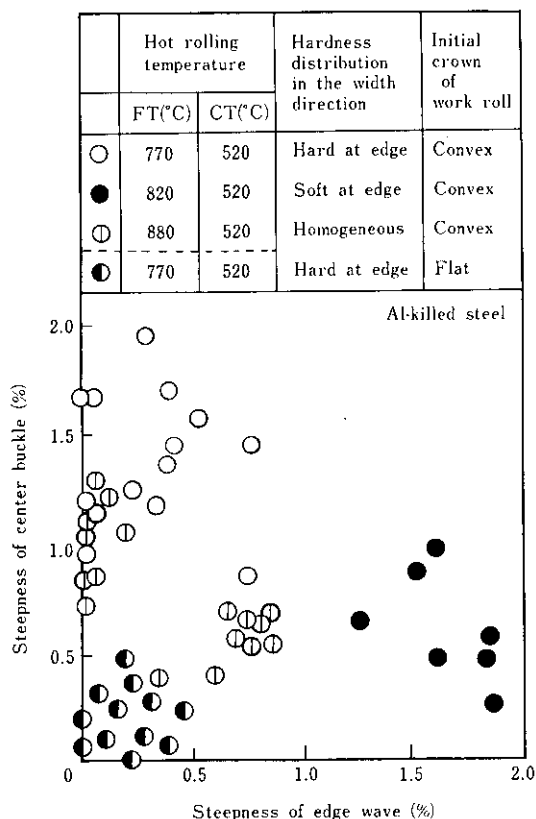


Fig. 6 Effect of hot rolling temperature and initial crown of work roll on flatness in 6 stand tandem cold mill

で熱間圧延されて粗粒化し、軟質になった。このため耳伸になった。また、高 FT 材の硬度分布は均一であるが、これは全幅が γ 領域で熱間圧延されたためで、耳伸、腹伸とも小さくなった。しかし、中、高 FT 材は Fig. 7 から明らかなように硬度が高く、冷間圧延性に劣るので、高 FT 材で平坦度が改善されても、工業化はむずかしい。以上の結果、極薄冷延鋼板用素材としては、FT を低くすることが有効で、これは加熱炉温度を低下することで容易に得られ、省エネルギーに大きく貢献できる。

4. 6 重式圧延機の効果

5 スタンドタンデムミル（以下 5 T と略記）は板厚 0.6~0.3mm の亜鉛めっき原板などの薄鋼板の圧延を行ってきた。近年、ぶりきなどの極薄鋼

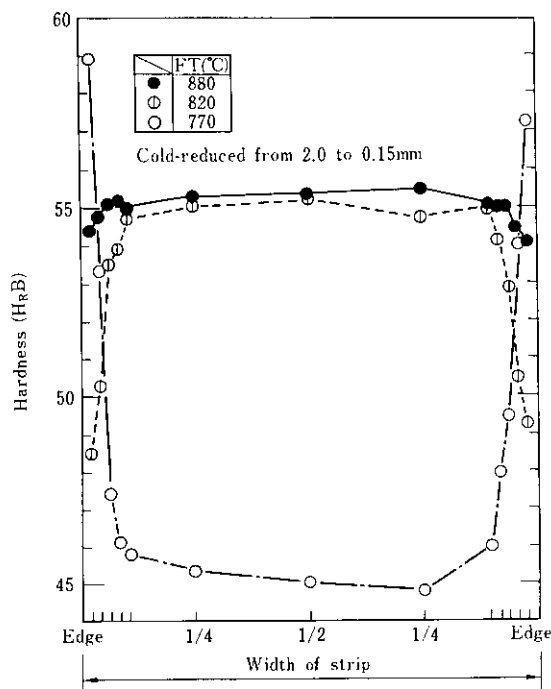


Fig. 7 Hardness distribution in strip width direction

板の需要拡大により、従来 6 T で圧延していたものが 6 T の処理能力を超過し、5 T でも圧延を行う必要が生じた。したがって、5 T では従来材に加えて、極薄鋼板の圧延も行うという寸法構成になった。このような条件変更において、平坦度に優れた鋼板を得るためには各寸法に最適なカーブを有するロールを使用せざるをえなくなった。そのためには多くのロールを保有し、ロールの取替え頻度が高くなって、能率が悪く、不経済であった。

そこで、昭和 55 年 11 月に 5 T の 5 std を従来の 4 重式圧延機（4 Hi ミル）から 6 重式圧延機（6 Hi ミル）に改造した。6 Hi ミルはワークロール（以下 WR と略記）と BUR の間に幅方向に移動可能な中間ロールを有し、これを圧延材に適合した幅位置に設定することにより、板幅方向の圧延荷重の均一化が図れ、鋼板の平坦度を向上できる。さらに 6 Hi ミルは 4 Hi ミルに比べて WR ベンダーがより有効に作用するので、5 std に強力な WR ベンダー（51.5tf/chock）を設置した。そして、形状制御の監視用として 5 std 出側に電磁相關方式

の形状検出装置を配した。

以上の改造により、Fig. 8～11に示すように耳伸急峻度が約1/4、腹伸急峻度が約1/2に改善された。また、平坦度不良の発生は改造によってFig. 9に示すように減少した。

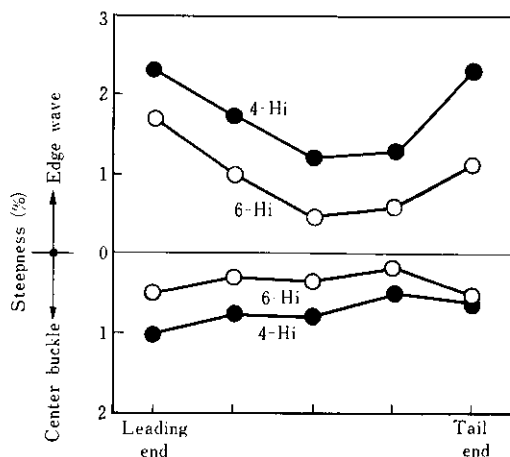


Fig. 8 Comparison of edge wave and center buckle between 6-Hi and 4-Hi mills

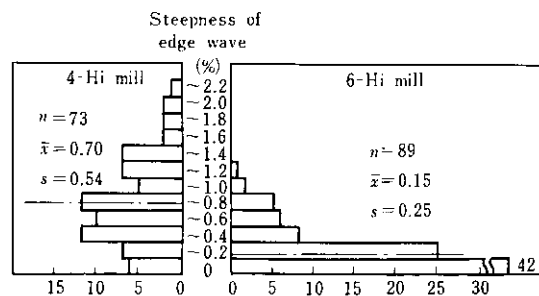


Fig. 9 Comparison of edge wave between 4-Hi and 6-Hi mills

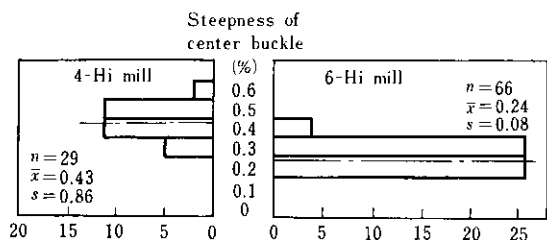


Fig. 10 Comparison of center buckle between 4-Hi and 6-Hi mills

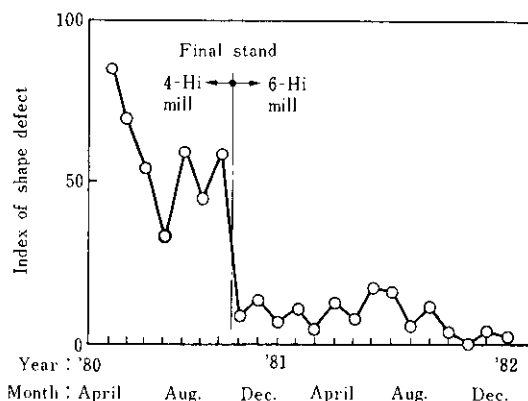


Fig. 11 Decrease of shape defect at 5 stand tandem cold mill

5. 調質圧延操業条件の改善

調質圧延は圧延材の機械的性質の調整、平坦度の改善、および板面粗度を調整するために、約0.5～3%の伸びを与えるように行われる。

近年、飲料缶などに使われるはんだ缶は、食品衛生上から、鉛を含有しない純ずはんだが使われるようになってきた。また、製缶の塗装技術が向上した結果、ずず付着量の少ないぶりきが使われるようになってきた。これらの条件変更は、いずれもはんだの濡れ性を悪化させ、製缶能率が低下する傾向になる。濡れ性を向上させるために、製缶技術の改善が図られているが、ぶりきには板面粗度が以前より小さい、光沢のよいブライト仕上のものが要求された。板面粗度は調質圧延のWR粗度によって決まるので、調質圧延では板面粗度に対応した粗度を有するWRを使って圧延を行うが、WR粗度を小さくすると圧延材表面に歪模様が發生し、圧延材の伸びが得られず、平坦度も悪くなった。

2スタンド乾式調質圧延によってブライト仕上のぶりき原板を製造する場合、1 stdに粗度の大きいダル仕上のWRを、また、2 stdにはブライト仕上のWRを一般に使用する。このようにWR粗度を組み合わせる理由は以下のように説明される。一定のスタンド間張力下で調質圧延を行うに際し、WR粗度と圧延材の伸びとの関係をFig. 12に示すが、WR粗度が小さくなるに従って、圧延

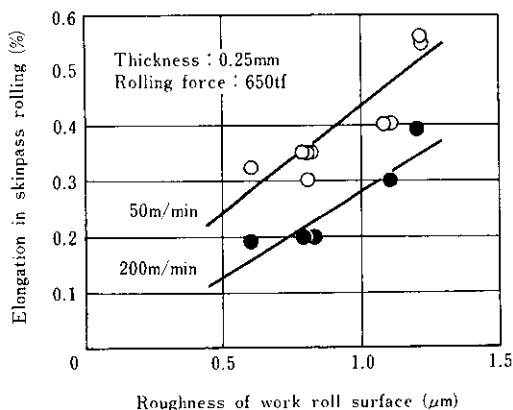


Fig. 12 Relation between roughness of work roll surface and elongation in dry skinpass rolling

材の伸びが小さくなった。これは、ダル仕上のWRを使うことによって、WR表面突起を板面に転写させることにより、板に塑性変形の起点を多く、均一に与え、そのうえでスタンド間張力による均一伸び変形を補助しているためと考えられる。この結果、大きな伸びが得られるとともに、平坦度にも優れるものが得られる。しかし、板面粗度を小さくするためにWR粗度を小さくしたロールを使って圧延材の伸びを得るためには、圧延荷重を大きくするか、スタンド間張力を大きくする必要がある。圧延荷重を大きくすると、前述のようになって、耳伸傾向となって好ましくない。また、スタンド間張力を大きくすると塑性変形の起点が少ない圧延材に引張変形を与えることになり、不均一変形が生じて圧延材に歪模様がはいり、平坦度も悪くなる。

このようなメカニズムを把握したうえで、伸びおよび平坦度の優れた原板を得るためには、1stdのWR粗度を選択することが重要になる。Table 2には1std WR粗度が平坦度、伸び、および板面粗度に及ぼす影響を示した。WR粗度が小さいと平坦度が悪くなる。また、逆に粗度が大きくなると光沢が悪くなる。これは、1std WRダル目の板面への転写が2std通過後にも痕跡となって残るためである。したがって、いずれの品質も満足できるものを得るためにはWR粗度が $1.4\mu\text{m } R_a$ のものが適していることがわかった。

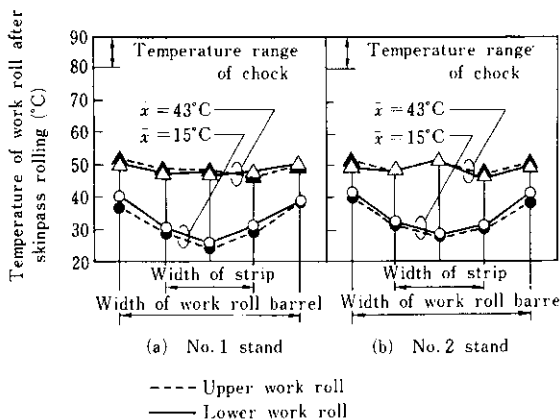
一方、ぶりきなどの金属印刷は、省エネルギー、

Table 2 Effect of roughness of work roll surface on quality of strip in 2 stand dry skinpass rolling

Work roll of No. 1 stand	Strip quality		
	Roughness(R_a) (μm)	Rolling elongation	Shape
	1.0	×	×
	1.2	×	×
	1.4	○	○
	1.6	○	×

○ : Good, × : Bad

能率向上の目的から多段式印刷機が使われはじめ、ぶりきの平坦度への要求がいちだんと厳しくなってきた。ぶりきの平坦度は調質圧延の矯正段階ではほぼ決まるので、調質圧延で平坦度に優れた原板をつくるための技術改善を進めてきた。その一例を以下に示す。調質圧延において、WR交換時を起点として、平坦度がしだいに耳伸傾向へと経時変化した。この原因を調べた結果をFig. 13に示すが、乾式調質圧延において、圧延材の温度が低いものと高いものを分けて圧延を行った後のWR幅方向温度分布を示す。低温材を圧延するとロールネック部が昇温しヒートクラウンは凹型になる。しかし、高温材を圧延すると、圧延材が有する熱によって圧延材通過部のロール温度も高くなり、凹型ヒートクラウンの形成が抑制される。冷間圧



$\bar{x}$: Average temperature of coil before skinpass rolling

Fig. 13 Effect of temperature of coil before rolling on temperature distribution of work roll after rolling

延の場合、圧延作業が進むに従って圧延材の塑性加工熱によってヒートクラウンは凸型に形成され、板幅中央部が伸びる傾向になる。しかし、調質圧延では、塑性加工熱は加工度が小さいのでヒートクラウンへの影響は小さく、それよりも、WR チョック部の発熱によるヒートクラウンへの影響が大きくなる。したがって、WR 幅方向の凹型ヒートクラウンを抑制するためには、圧延材が高温のうちに圧延することが有効である。圧延材の温度と調質圧延後の耳伸との関係を Fig. 14 に示すが、圧延材が高温であれば耳伸が小さくなることがわかる。

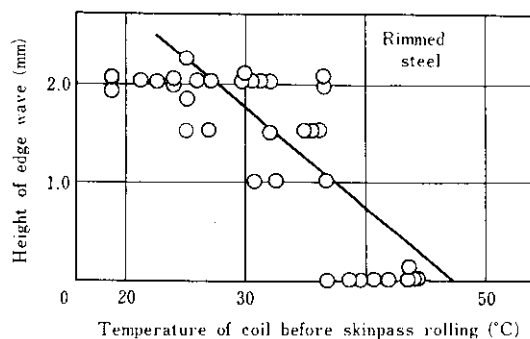


Fig. 14 Relation between temperature of coil before skinpass rolling and height of edge wave

6. 新圧延油供給方式による生産効率向上

5 T の圧延油供給方式は、循環方式であった。この方式は低濃度の圧延油エマルジョンを潤滑とロール冷却に兼用していた。しかし、極薄鋼板を高速で圧延するには循環油の濃度、流量を増加する必要があり不経済であった。そこで、新圧延油

供給方式「ハイブリッドシステム(Hybrid system)」を開発した。この方式は、Fig. 15 に示すように、潤滑を主目的としたハイブリッドシステムとロール冷却を主目的としたクーラントシステムから成り立っている。従来の循環方式に比べて潤滑性能、ロール冷却性能ともに改善される。したがって、極薄鋼板の高速圧延時のヒートストリーク発生防止

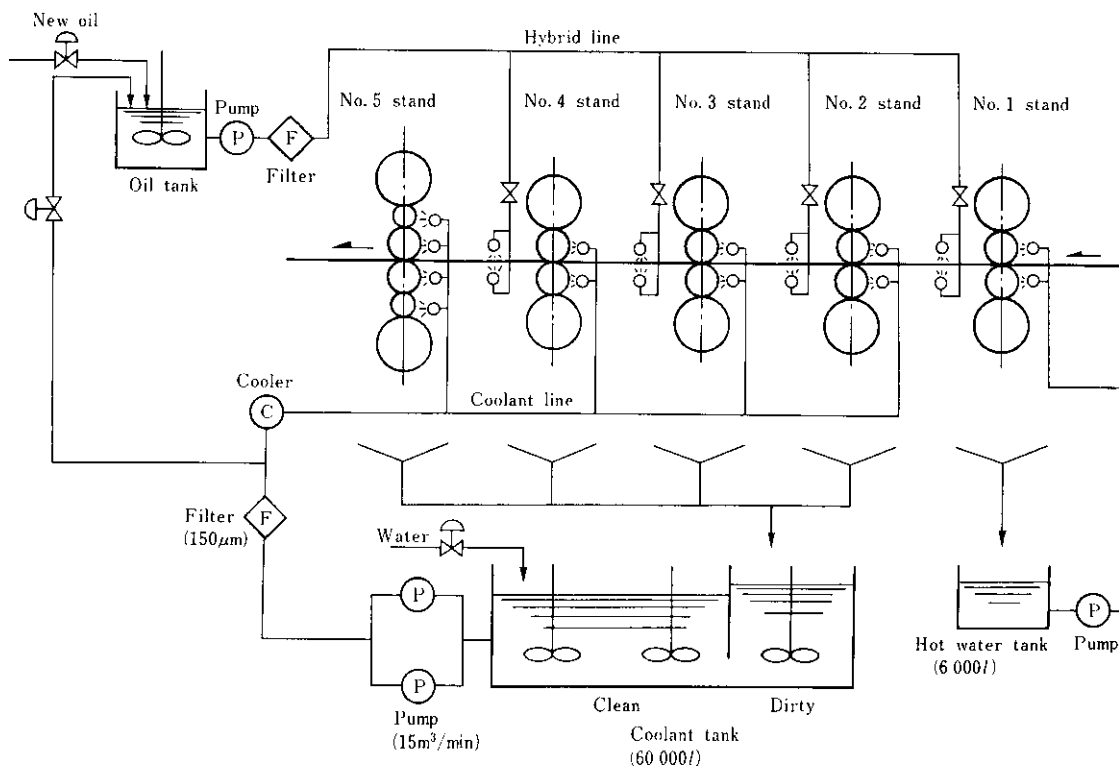


Fig. 15 Rolling oil supply system "Hybrid" in 5 stand tandem cold mill

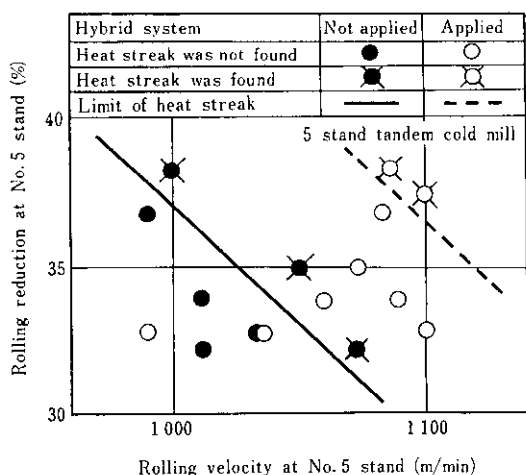


Fig. 16 Effect of Hybrid system for heat streak

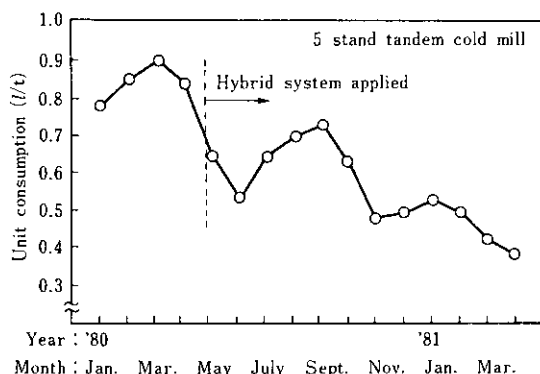


Fig. 17 Change of rolling oil unit consumption

に効果があり、Fig. 16 に示すように 5 std の圧下率が 35% の場合、従来方式に比べて圧延速度は約 100m/min 向上できた。また、ハイブリッド系統は濃度変更が迅速にできるようにタンク容量を小さくし、さらに、新しい圧延油の補給はハイブリッ

ド系統のみにを行い、クーラント系統の圧延油分はハイブリッド系統から回収した油からの供給とした。この結果、圧延油原単位は Fig. 17 に示すように従来の約 1/2 になった。

7. 結 言

高品質の極薄冷延鋼板を高生産性を維持しながら製造できるように、いろいろな改善を進めてきた結果、以下のような成果が得られた。

- (1) 板厚精度については、キーレスベアリング、油圧圧下 BISRA-AGC、ロール偏心制御などの開発、採用を行った。この結果、板厚精度は従来 $\pm 2.25\%$ であったものが、 $\pm 0.7\%$ にまで向上した。
- (2) 冷間圧延鋼板用素材の低 FT による軟質化により、冷間圧延性、平坦度とも大幅に改善できた。

以上の結果、6 T は圧延材の平均寸法が板厚 0.23mm、板幅 835mm で、最小板厚が 0.145mm、最高圧延速度は 2 200m/min (132km/h) の高能率極薄鋼板専用圧延機になった。

- (3) 需要の拡大により 5 T でも極薄鋼板の圧延を行うようになったが、5 std の 6 Hi ミル化により、フルハード亜鉛めっき原板の平坦度は、耳伸急峻度で約 1/4、腹伸急峻度で約 1/2 となり、大きく改善できた。

- (4) 調質圧延において、WR 粗度、圧延材の温度を検討した結果、鋼板表面粗度が小さいにもかかわらず平坦度に優れた鋼板を得ることができるようになった。

- (5) 5 T でも極薄鋼板の圧延を行うに際し、新しい圧延油供給方式「ハイブリッドシステム」を開発した。この結果、ヒートストリークの発生が抑制され、高速圧延が可能になって、圧延油原単位は従来の約 1/2 になった。

参 考 文 献

- 1) 柳島ら：川崎製鉄技法、8 (1976) 4、13-22
- 2) 有村ら：第30回塑性加工連合講演会論文集、(1979)、97-100
- 3) 有村ら：第30回塑性加工連合講演会論文集、(1979)、101-106
- 4) H. Sunami *et al.*: "Development of a newly designed oil film bearing", Proc. AISE., 10 (1979) 2
- 5) T. Teshiba *et al.*: Proc. ICSR, 1 (1980), 451-462
- 6) 有村ら：第30回塑性加工連合講演会論文集、(1979)、93-96

- 7) 有村ら：第30回塑性加工連合講演会論文集，(1979)，111—114
- 8) K. Hashimoto *et al.* : Proc. ICSR, 1 (1980) 31, 428—438
- 9) 北村ら：鉄と鋼，65 (1979) 2, A45—48
- 10) 北村ら：第30回塑性加工連合講演会論文集，(1979)，81—84
- 11) 鎌田ら：鉄と鋼，67 (1981) 14, 80—89
- 12) 神馬ら：第1回中国・九州地方合同技術懇談会論文集，1 (1980)，1—11