
極薄熱間圧延鋼板

Ultra-thin Hot Rolled Strip

山田 信男(Nobuo Yamada) 北浜 正法(Masanori Kitahama) 二階堂 英幸(Hideyuki Nikaido)

要旨：

川崎製鉄千葉製鉄所第 3 熱間圧延工場では、エンドレス圧延技術を活用した新製品の開発に取り組んできた。従来の熱延鋼板の最小板厚は 1.2 mm であったが、当エンドレス圧延技術の開発により 1.0 mm あるいは 0.9 mm 厚の製品を安定して製造する技術確立し、商品名 RTHC (River thin hot coil commercial grade) として 1997 年より極薄熱延鋼板の製造を開始した。極薄熱延鋼板は、その寸法精度および材料特性は従来の熱延鋼板と同等以上であり、好評を博している。極薄熱延鋼板は、軽量化、省エネルギー、CO₂ 削減など、時代の趨勢に対応した新製品であり、今後さらに需要が高まるものと期待している。

Synopsis：

Kawasaki Steel has been making efforts to develop new hot-rolled steel products by using fully continuous rolling technology, so-called "endless rolling", at No. 3 hot strip mill of Chiba Works. Stable rolling technology of ultra-thin hot rolled strips such as 1.0 mm and 0.9 mm in thickness has been established, and the conventional minimum gauge of hot rolled strips (1.2 mm) has been lowered. The ultra-thin hot rolled strips have been provided to the market with a bland name "RTHC" (River thin hot coil commercial grade) since 1997. The ultra-thin hot rolled strips have excellent quality in dimensional accuracy and mechanical properties. In addition, the ultra-thin hot rolled strips meet current needs of energy saving and reducing CO₂. New market and more demands for the newly developed product strips are expected.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Ultra-thin Hot Rolled Strip



山田 信男
Nobuo Yamada
千葉製鉄所 管理部薄板管理室 主査(課長)



北浜 正法
Masanori Kitahama
技術研究所 加工・制御研究部門長



二階堂 英幸
Hideyuki Nikaido
千葉製鉄所 設備技術部プロセス開発室 兼熱間圧延部熱延技術室 主査(課長)

要旨

川崎製鉄千葉製鉄所第3熱間圧延工場では、エンドレス圧延技術を活用した新製品の開発に取り組んできた。従来の熱延鋼板の最小板厚は 1.2 mm であったが、当エンドレス圧延技術の開発により 1.0 mm あるいは 0.9 mm 厚の製品を安定して製造する技術を確立し、商品名 RTHC (River thin hot coil commercial grade) として 1997 年より極薄熱延鋼板の製造を開始した。極薄熱延鋼板は、その寸法精度および材料特性は従来の熱延鋼板と同等以上であり、好評を博している。極薄熱延鋼板は、軽量化、省エネルギー、CO₂ 削減など、時代の趨勢に対応した新製品であり、今後さらに需要が高まるものと期待している。

Synopsis:

Kawasaki Steel has been making efforts to develop new hot-rolled steel products by using fully continuous rolling technology, so-called "endless rolling", at No. 3 hot strip mill of Chiba Works. Stable rolling technology of ultra-thin hot rolled strips such as 1.0 mm and 0.9 mm in thickness has been established, and the conventional minimum gauge of hot rolled strips (1.2 mm) has been lowered. The ultra-thin hot rolled strips have been provided to the market with a bland name "RTHC" (River thin hot coil commercial grade) since 1997. The ultra-thin hot rolled strips have excellent quality in dimensional accuracy and mechanical properties. In addition, the ultra-thin hot rolled strips meet current needs of energy saving and reducing CO₂. New market and more demands for the newly developed product strips are expected.

1 緒 言

熱延鋼板は、圧延材の温度確保の困難性、仕上げ圧延機における先尾端の通板上の問題、および仕上げ出側テーブル上での走行性の問題などにより、その最小板厚が 1.2 mm とされていた。軽量化および省エネルギーの観点から、1.2 mm 未満の極薄熱延鋼板の潜在的な要望はあったものの、前記圧延プロセス上の問題から、その実現が阻まれていた。

一方、最近では薄物および極薄材料の圧延に特化したミニミルにより、極薄熱延鋼板の製造を可能としたとの報告もある¹⁾。しかし、そのような圧延機においても、先尾端の通板上の問題は解決されておらず²⁾、依然として問題が内在している。

当社では、千葉製鉄所第3熱間圧延工場(千葉3ホット)において、シートバーを仕上げ圧延機入側で接合し、連続的に仕上げ圧延機に供給するエンドレス圧延技術を世界に先駆けて開発し³⁻⁵⁾、先尾端の通板上の問題を解決した。エンドレス圧延においては、常に張力が負荷された定常圧延が実現できるため、極薄熱延鋼板の安定した圧延が可能となっている⁶⁾。

本報では、従来の熱間圧延の限界をはるかに超えた極薄熱延鋼板

の製造技術と、それにより製造が可能となった極薄熱延鋼板の品質および使用例について述べる。

2 極薄熱延鋼板の圧延特性と実現のための設備・制御

2.1 極薄熱延鋼板の圧延上の特徴

従来、冷間圧延で製造されていた板厚域を熱間圧延により製造するためには、熱間圧延時の荷重特性の把握が重要である。Fig. 1 に熱間および冷間圧延時の、塑性定数(単位板厚の圧下量増による荷重増加量)および1%の板厚変化による荷重変化量を示す。板厚が薄くなるほど塑性定数は増加し、極薄熱延鋼板の場合、従来の最小板厚である 1.2 mm 材と比較すると 0.9 mm で約2倍、0.8 mm では約3倍の塑性定数となる。冷間圧延においては、変形抵抗が 1000 MPa 程度まで上昇し、熱間圧延での変形抵抗 300 MPa 程度に対して3倍程度の値となる。しかし、潤滑圧延による摩擦係数の低減効果の影響が上回り、結果として、熱延の 1.6 mm 材は冷延の 0.8 mm と、熱延の 0.8 mm 材は冷延の 0.15 mm クラスの極薄材と同程度の塑性定数レベルにある。

さらに、板厚制御時の荷重変化の指標として、板厚が1%変化した場合の荷重変化を比較すると、熱間圧延は冷間圧延よりも荷重変

* 平成 11 年 6 月 8 日原稿受付

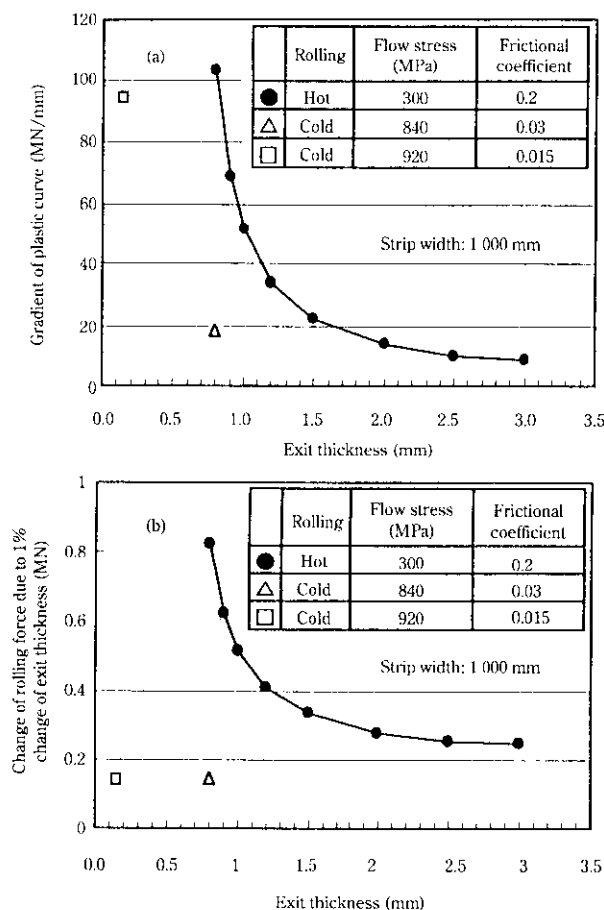


Fig. 1 Comparison of rolling force between hot and cold rolling: (a) Gradient of plastic curve, (b) Change of rolling force due to 1% change of thickness

化が数倍大きい。荷重変化が大きいと、単に板厚制御が悪化するだけでなく、荷重変化によるロールの弾性変形量の変化により、鋼板の平坦度が悪化する。このため、極薄熱延鋼板の圧延においては、圧延設備および制御技術に特別な配慮が必要である。

2.2 板厚制御技術

Table 1 に千葉3ホットの板厚制御および形状・クラウン制御システムの特徴を示す。高度な板厚精度を得るためには、AGC (automatic gauge control) が必須の技術である。多種の AGC 方式があるが、仕上げ圧延機出側の板厚計により板厚偏差を計測し、仕上げ後段数スタンドの圧下位置を制御するモニター AGC が最も一般的に用いられている。しかし、複数スタンド間のフィードバックゲインが適正でない場合にはある特定スタンドに板厚修正が集中し、大きな荷重変動をまねく場合があった。前述のように塑性定数の非常に大きい極薄熱延鋼板の圧延に対応するために、千葉3ホットでは F4 以後の全スタンド出側に板厚計を配置した。後段スタンドにおいては各スタンドの実測板厚をもとに板厚偏差を最小化し、さらに板厚計のない前段スタンドにおいても絶対値 AGC を採用することにより、全スタンドにおいて所定の板厚を達成できる板厚制御システムとした⁷⁾。本板厚制御システムにより、板厚偏差の修正が特定のスタンドに集中することなく、高精度の板厚制御が可能となった。

また、エンドレス圧延の開発により、コイル全長に渡って一定の張力下での安定圧延を実現したが、エンドレス構成コイルの先端材

Table 1 Thickness, shape and crown control functions

	Thickness control	Shape and crown control
Hardware	Hydraulic push down with MMC AC motor Inter-stand X-ray gauge	High response bender Pair cross Inter-stand crown meter
Setup control	Optimum draft schedule Rolling force model Forward slip model	Cross and bender setup model
Dynamic control	AG-AGC M-AGC FGC Tension control	Bending force control corresponding to rolling force Shape meter FB bender control
Adaptive control	Flow stress learning Temperature learning	Crown learning Shape learning

MMC: Mill modulus control

AG-AGC: Absolute gauge AGC

M-AGC: Monitor AGC

FGC: Flying gauge Change

の先端および最終材の尾端においては張力が負荷されず、従来圧延と同様に通板トラブルの危険性を含む圧延となる。このため、エンドレス極薄圧延においても、先端部および尾端部は従来の最小板厚である 1.2 mm とし、その中間で極薄材を製造している。

1.2 mm から 0.9 mm への走間板厚変更の場合、25% もの板厚変更が必要とされる。従来、厚物材の熱間圧延において、10% 程度の少量の走間板厚変更を行った報告はある⁸⁾。しかし、極薄熱延鋼板での走間板厚変更においては、大幅なスケジュール変更を特定のスタンドに変更量が集中することなく行う必要がある。このため、走間板厚変更の前後のコイルに対して最適な圧下スケジュールを設定し、全スタンドの圧下位置、ロール速度をその設定結果に従って変更する、設定計算をベースとした走間板厚変更システムを開発した。

また、大幅な圧下変更とマスフローバランスのための速度変更を完全に同期させて行うため、全スタンドに高応答の油圧圧下装置および AC モータを採用し、圧下と速度の制御性を揃えた。さらに、マスフロー誤差を迅速に修正するために分散制御による高応答張力制御を開発し、0.5 s 程度の短時間で大幅な走間板厚変更を安定して行う技術を確立した。

2.3 形状制御技術

熱間圧延材を冷間圧延材に代わって使用する場合、鋼板の形状は製品の品質として非常に重要である。さらに圧延操業面でも、極薄材の形状を良好に保つことは、絞り込みなどのトラブルを防止する上で非常に重要となる。極薄鋼板の熱間圧延では、板の剛性が小さいために形状が乱れやすい。また、エンドレス圧延においては、従来の数コイル分にわたって圧延が継続されるため、ロールの熱膨張(サーマルクラウン)の変動が大きくなり、形状が悪化する恐れがあった。

Table 1 に千葉3ホットにおける形状制御システムの概要を併記した。サーマルクラウンやロール摩耗によるロールプロファイルの経時変化を考慮したクロス角およびベンダー力の設定を行い、さらに、荷重変動に連動したベンダー制御により形状の変化を防止している。また、F7 出側形状検出器により最終スタンドのベンダー力を制御する形状 FB 制御、スタンド間クラウン計および仕上げ出側形状検出器を用いたクラウンおよび形状の学習制御機能により、鋼板の先端から良好な製品形状を得ることができるようになった。

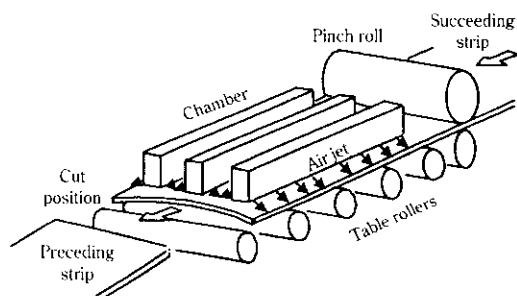


Fig. 2 Schematic diagram of floating threading device

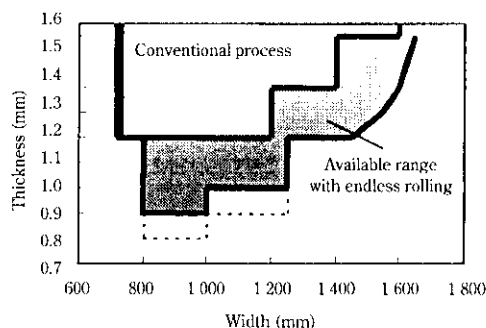


Fig. 3 Available size range

2.4 コイラー前高速通板技術

極薄材の熱間圧延においては、鋼板の温度が低下しやすく、仕上げ圧延機出側温度を変態温度以上に確保するためには、従来よりも高速で圧延する必要がある。エンドレス圧延により、仕上げ圧延機内および仕上げ出側テーブルでの高速走行性の問題は解決された。しかし、コイラー直前で各製品コイル単位に切断し、切断された後行材先端部をコイラーまで確実に案内する必要がある。この目的で、高速通板装置を開発した。Fig. 2 に高速通板装置の概要を示す。テーブルローラー上に設置されたエアチャンバを備えた上面ガイド状のものであり、チャンバから吹き出したエアジェットによりノズルと板間の圧力を低下させ鋼板を吸引浮上させるものである。本装置は吸引浮上により鋼板の走行抵抗を下げ、さらに中央部を積極的に浮上させ鋼板を幅方向に湾曲させて剛性を高めることにより、安定した走行を実現した。本装置により極薄材のコイルングが可能となった。

3 極薄熱延鋼板の品質

上記技術開発により、従来の熱延鋼板の製造範囲を大幅に超えた極薄熱延鋼板の製造が可能となった。Fig. 3 に現在の圧延可能範囲を示す。従来法での最小板厚 1.2 mm はエンドレス圧延の適用により 0.9 mm まで拡大され、また 1.2 mm × 1500 mm のような薄物広幅材の圧延も可能となった。極薄熱延鋼板は、その商品名を RTHC (River thin thickness hot coil commercial grade) として、1997 年より供給を開始している。本章ではそれらの寸法および機械特性などの品質について述べる。

3.1 板厚精度

Fig. 4 に 1.2 mm からの走間板厚変更により 0.9 mm 材を圧延し

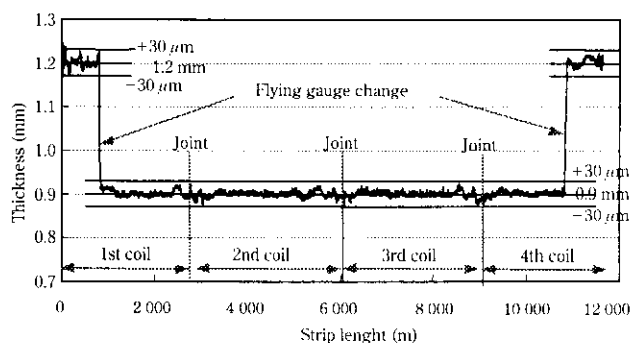


Fig. 4 Center thickness of ultra-thin hot strips (1.2→0.9→1.2 × 1025 mm, 4 coil endless rolling)

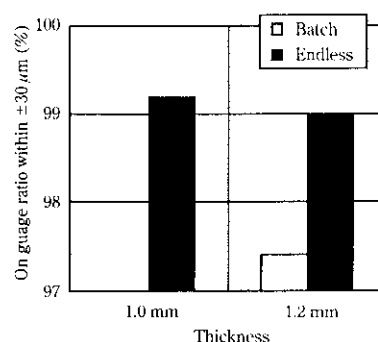


Fig. 5 On gauge ratio

た場合の板厚チャートを示す。本例は、4 コイルを接合したエンドレス圧延であり、先頭コイルおよび最終コイルのなかばで走間板厚変更を実行している。最先端を除く全長で $\pm 30 \mu\text{m}$ 以内の板厚精度が得られており、走間板厚変更も非常に速やかに行われている。

Fig. 5 にエンドレス圧延による 1.0 mm 材の $\pm 30 \mu\text{m}$ オンゲージ率を、バッチおよびエンドレス圧延による 1.2 mm 材と比較して示す。エンドレス圧延においては 1.2 mm、1.0 mm のいずれも 99% を超えており、板の先端非定常部で発生していた板厚変動がエンドレス圧延では大幅に低減している。また、1.0 mm 材のオンゲージ率は 1.2 mm 材よりも高く、極薄熱延鋼板の板厚精度は非常に良好である。

3.2 クラウン・形状

Fig. 6 に F7 出側形状検出器による平坦度の実績を示す。エンドレス先頭材の最先端で約 1% の急峻度となっているが、形状 FB 制御により迅速に 0.3% 程度の急峻度となり、それ以後は常に張力が作用する定常圧延状態となるために、全長を通じて良好な平坦度が保たれている。また、その際の板端 25 mm 位置における板クラウンの長手方向推移を Fig. 7 に示す。サーマルクラウンの成長により板クラウンはエンドレス構成コイル内で緩やかに低減してゆく。

一方、本圧延時のエンドレス先頭材と最終材の幅方向板厚プロファイルを比較して Fig. 8 に示す。両者のプロファイルは、最端部におよぶ差が認められるのみであり、ほとんど変化していない。Fig. 7 に示したようにサーマルクラウンの影響はあるものの、最端部のみに限定されており、板プロファイルはエンドレス圧延コイル内でほぼ同じと見なすことができる。

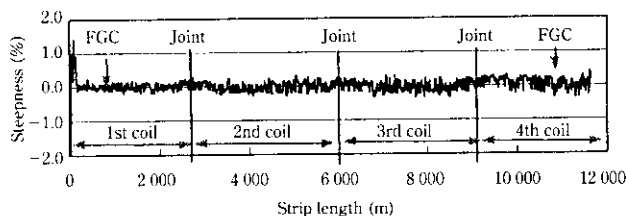


Fig. 6 Flatness of ultra-thin hot strips at delivery of finishing mills (1.2→0.9→1.2 × 1 025 mm, 4 coil endless rolling)

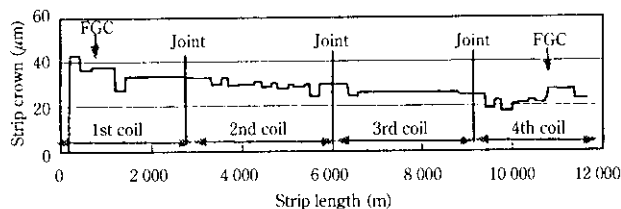


Fig. 7 Change of strip crown during endless rolling (1.2→0.9→1.2 × 1 025 mm, 4 coil endless rolling)

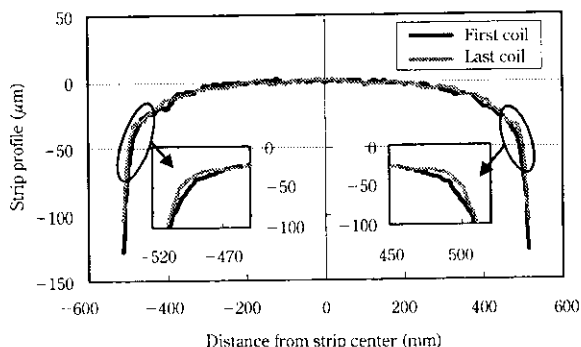


Fig. 8 Comparison of strip profile between first and last coils in one endless rolling set

3.3 極薄熱延鋼板の機械的性質

Fig. 9 に 1.0 mm の極薄熱延鋼板の引っ張り試験結果を 1.2 mm 材と比較して示す。1.2 mm 材と比較して 1.0 mm 材は、TS および YP とほぼ同等である。

Fig. 10 に極薄熱延鋼板の伸び特性を JIS 規格値と比較して示す。板厚 1.0 mm の RTHC は平均 36.5% と JIS に比較して大幅に良好な伸び特性を示し、加工用途に用いることが可能である。

また、1.0 mm 材の光学顕微鏡ミクロ組織写真を Photo 1 に示す。幅方向全断面において最表層まで微細な熱間圧延組織となっており、変態点割れ圧延などによる異常粒は観察されておらず、ミクロ組織的にも健全な鋼板が得られていることが確認された。

3.4 極薄熱延鋼板の塗装性

Photo 2 および Table 2 に塗装後のペイント剥離性試験 (JIS K5400) の結果を示す。1.0 mm の極薄熱延鋼板は、黒皮厚物熱延鋼板および熱延酸洗鋼板と比較しても、同等の剥離性能を有しており、塗装用途に用いることも可能である。

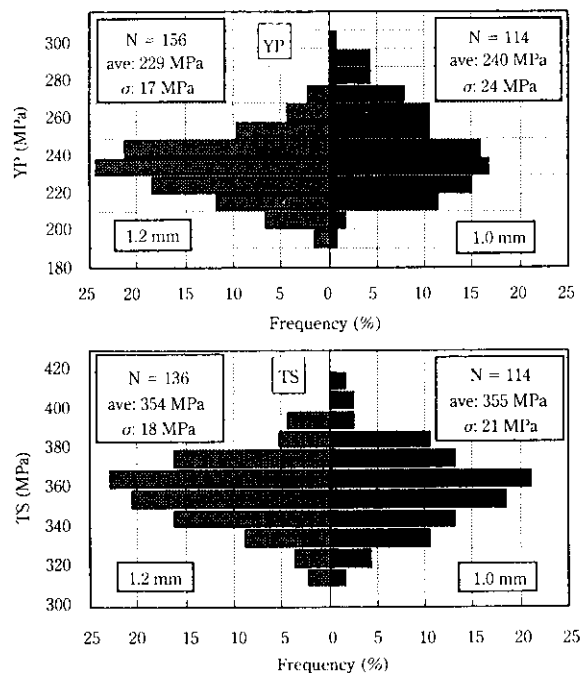


Fig. 9 Comparison of mechanical properties between 1.0 and 1.2 mm strip

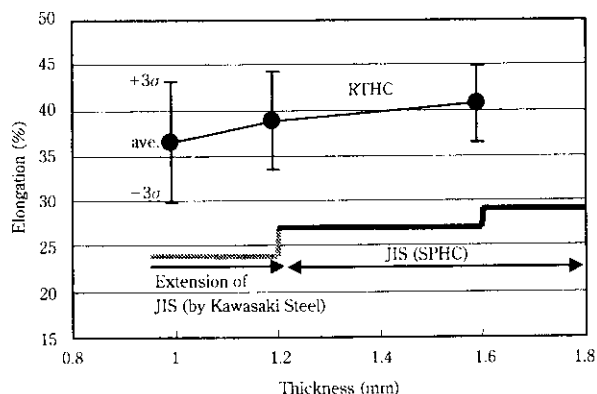


Fig. 10 Elongation of ultra-thin hot rolled strips

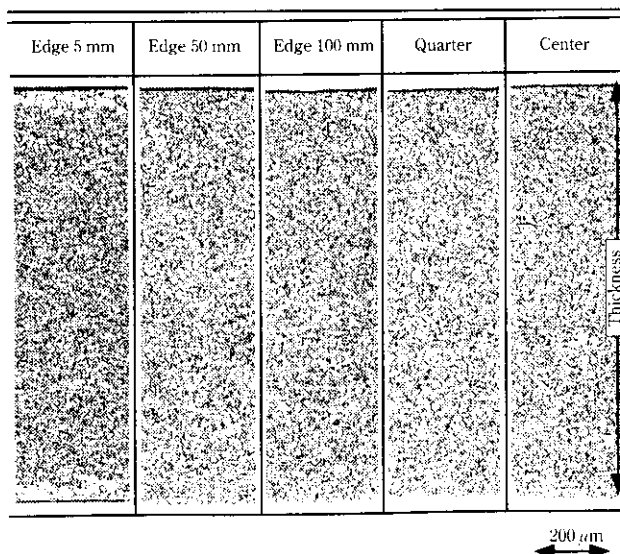
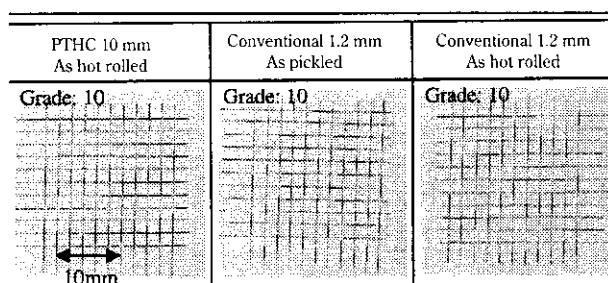


Photo 1 Micro structure of ultra-thin hot rolled strips



Iron Phosphate + Polyester Powder Coating
Grade 0 (Bad) - 10 (Good)

Photo 2 Result of paintability test (JIS K 5 400, wet paintability)

Table 2 Result of paintability test under various coating conditions

Coating	Material	RTHC 1.0 mm	SPHC 1.2 mm	SPHC 1.2 mm
	Surface condition	As hot rolled	As pickled	As hot rolled
	Scale thickness	5 μ m	0	7 μ m
	Phosphate treatment	Grades of paintability (JIS K5400) Dry/Wet, 0 (Bad) - 10 (Good)		
PP	ZP	10/10	10/10	10/10
EP		10/10	10/10	10/10
ME		8/8	8/8	6/6
ARE		8/8	10/10	8/6
PP	IP	10/10	10/10	10/10
EP		10/10	10/10	10/10
ME		8/8	10/8	4/4
ARE		8/6	10/8	6/4

ZP: Zinc phosphate, IP: Iron phosphate,
PP: Polyester powder, EP: Epoxy powder,
ME: Melamine enamel, ARE: Acryl resin enamel

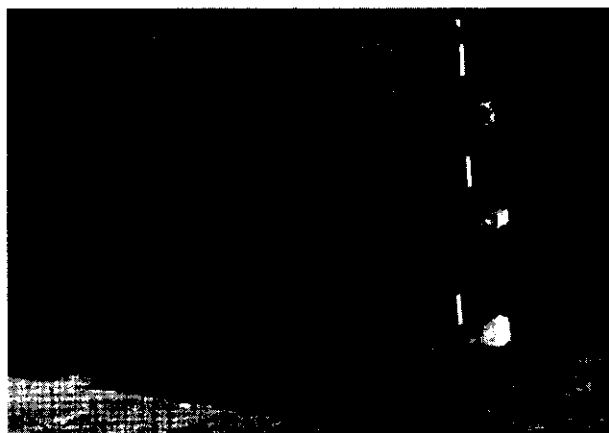


Photo 3 Stack of rectangular steel tubes made from ultra-thin hot rolled strips

4 極薄熱延鋼板の使用例

極薄熱延鋼板は、出荷と同時に市場に大きなインパクトを与え、期待通りの品質とサービスで数多くのお客様にご愛顧を頂き、好評を博している。

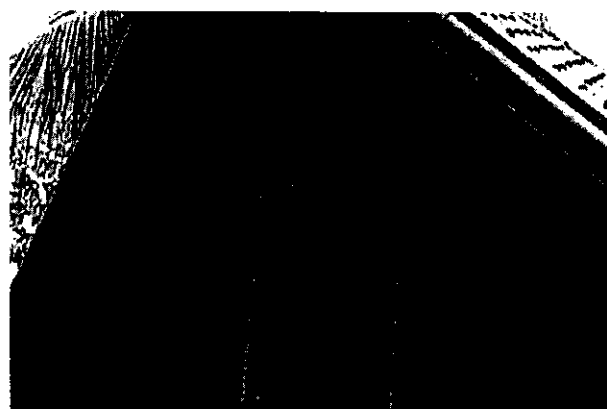


Photo 4 Purlin (roll-formed light-gauge sections)

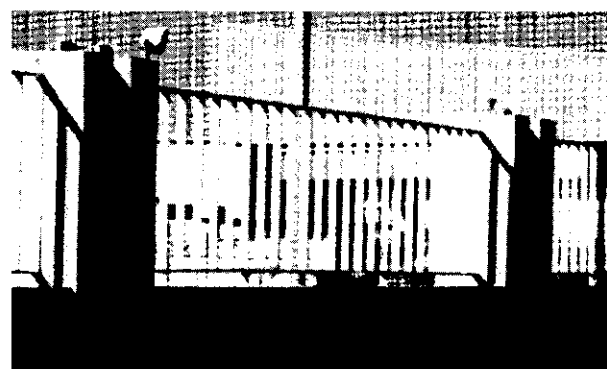


Photo 5 Fence of residential house (rectangular tubes)



Photo 6 Frame of bed (square tubes)

現在までの主な用途は、丸あるいは角鋼管 (Photo 3)、各種形状のチャンネル材、軽加工用の一般切り板などである。それらは、屋根の支柱材 (Photo 4)、フェンス (Photo 5)、水道管・家具管などのパイプ類 (Photo 6) などの最終用途に用いられている。

現在までは、競合する冷延鋼板が用いられていた製品のうちで、さほど加工が厳しくない部材に対して極薄熱延鋼板の適用がなされており、順調にその生産量が伸びている。今後、さらに加工用途などへの展開を図っていく計画である。

5 結 言

エンドレス圧延技術の開発と、その機能をさらに拡充した極薄材の圧延制御技術の開発により、1.0 mm, 0.9 mm などの極薄熱延鋼板

の製造技術を確立した。極薄熱延鋼板は、その寸法精度において従来の熱延鋼板以上の、また材料特性においては従来と同等の品質が得られており、好評を博している。極薄熱延鋼板は、軽量化、省エネルギー、CO₂ 削減など時代の趨勢に対応した新製品であり、今後さらに需要が高まるものと期待している。

参 考 文 献

- 1) L. A. LeDuc-Lezama: *Iron & Steel Eng.*, (1997)4, 27-30
- 2) L. A. LeDuc-Lezama and J. M. Munoz Baca: *Iron & Steel Maker*, (1998) 2, 25-31
- 3) 二階堂英幸、磯山 茂、野村信彰、林 寛治、森本和夫、坂本秀夫：川崎製鉄技報，**28**(1996)4, 224-230
- 4) F. Yanagishima: 7th Int. Conf. on Steel Rolling, (1998), 717-726
- 5) 二階堂英幸：第 169・170 回西山記念技術講座，(1998), 79-108
- 6) T. Kukizaki, H. Shiomi, H. Nikaido, and I. Hishinuma: SEAIISI Taiwan Conf. (1999), Session 17-1
- 7) 今江敏夫、野村信彰、三吉貞行：川崎製鉄技報，**28**(1996)4, 219-223
- 8) 小菅 宏、辻 勇一、西尾充弘、関口邦男、柴田 寛、野口正晴、三代川勝：第 36 回製鋼加速講論，(1985), 181-184