
千葉製鉄所第 3 熱間圧延工場におけるステンレス鋼の高品質化熱間圧延技術

Hot Rolling Technology for Producing High Quality Stainless Steel at No. 3 Hot Strip Mill in Chiba Works

江川 直人(Naoto Egawa) 石塚 晴彦(Haruhiko Ishizuka) 蛭田 敏樹(Toshiki Hiruta)

要旨：

需要家の品質要求の厳格化および限界サイズ拡大のニーズに応えるため、1995 年 5 月に千葉製鉄所第 3 熱間圧延工場が稼働した。本工場における熱延ステンレス鋼板の寸法形状品質、表面品質は、高精度高応答板厚制御、ORG を導入したペアクロスミルにおける高精度クラウン・形状のセットアップ制御とダイナミック制御およびエッジシーム疵の制御により飛躍的に向上した。(1) 高変形抵抗難圧延材のステンレス鋼板のサイズ拡大を図るとともに、全長にわたり高精度の板厚を達成した。(2) スケジュールフリーの操業下においても、安定して低クラウンを達成するステンレス鋼板の高精度クラウン・形状制御技術を開発した。(3) サイジング幅プレスの活用によりエッジシーム疵の回り込み量を大幅に低減する技術を開発した。

Synopsis：

No. 3 hot strip mill in Chiba Works of Kawasaki Steel started its operation in May 1995. The mill meets the strict quality requirements of customers in recent years and expands the product size of stainless steel. The dimensional and surface quality of stainless steel at No. 3 hot strip mill further advanced by introducing highly accurate and high-response thickness gauge control, set-up and dynamic control for optimizing crown and flatness at pair cross mill, equipped with on-line roll grinder, and edge-seam control. (1) Product size of hard steel strips such as stainless steel has been expanded and high accuracy in longitudinal thickness has been achieved over the full length of hot rolled strips. (2) Low crown of stainless steel has been able to be obtained by developing highly accurate crown and flatness control. (3) Reduction of the edge-seam defects of stainless steel has been developed by using the sizing press.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

千葉製鉄所第3熱間圧延工場における ステンレス鋼の高品質化熱間圧延技術*

川崎製鉄技報
30 (1998) 2, 82-87

Hot Rolling Technology for Producing High Quality Stainless Steel at No. 3 Hot Strip Mill in Chiba Works



江川 直人
Naoto Egawa
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室



石塚 晴彦
Haruhiko Ishizuka
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室 主査
(課長)



蛭田 敏樹
Toshiki Hiruta
技術研究所 加工・制
御研究部門 主任研究
員(課長)

要旨

需要家の品質要求の厳格化および限界サイズ拡大のニーズに応えるため、1995年5月に千葉製鉄所第3熱間圧延工場が稼働した。本工場における熱延ステンレス鋼板の寸法形状品質、表面品質は、高精度高応答板厚制御、ORGを導入したペアクロスミルにおける高精度クラウン・形状のセットアップ制御とダイナミック制御およびエッジシーム疵の制御により飛躍的に向上した。(1)高変形抵抗難圧延材のステンレス鋼板のサイズ拡大を図るとともに、全長にわたり高精度の板厚を達成した。(2)スケジュールフリーの操業下においても、安定して低クラウンを達成するステンレス鋼板の高精度クラウン・形状制御技術を開発した。(3)サイジング幅プレスの活用によりエッジシーム疵の回り込み量を大幅に低減する技術を開発した。

Synopsis:

No. 3 hot strip mill in Chiba Works of Kawasaki Steel started its operation in May 1995. The mill meets the strict quality requirements of customers in recent years and expands the product size of stainless steel. The dimensional and surface quality of stainless steel at No. 3 hot strip mill further advanced by introducing highly accurate and high-response thickness gauge control, set-up and dynamic control for optimizing crown and flatness at pair cross mill, equipped with on-line roll grinder, and edge-seam control. (1) Product size of hard steel strips such as stainless steel has been expanded and high accuracy in longitudinal thickness has been achieved over the full length of hot rolled strips. (2) Low crown of stainless steel has been able to be obtained by developing highly accurate crown and flatness control. (3) Reduction of the edge-seam defects of stainless steel has been developed by using the sizing press.

1 緒 言

川崎製鉄千葉製鉄所第3熱間圧延工場(千葉3HOT)は1995年5月に稼働し、順調に操業を続けている^{1,2)}。本工場は需要家の品質要求の厳格化および限界サイズ拡大の要求に応え^{3,4)}、かつ21世紀においても高い競争力を有する圧延工場として建設された。

千葉3HOTにおいては極薄鋼板、高級鋼板を中心に製造しており、その中でもステンレス鋼板は全生産量の約10%を占め、主力製品のひとつになっている。ステンレス鋼板は普通鋼板に比べ熱間での変形抵抗が高く、かつ厳格な表面品質が要求される難圧延材である⁵⁾。千葉3HOTでは難圧延材の圧延をも考慮して、最新鋭のハードおよびソフトを導入し⁶⁾、長手方向板厚、幅およびクラウン寸法精度を飛躍的に向上させてきた。

本報告では、千葉3HOTにおいて製造される熱延ステンレス鋼板の板厚、クラウン・形状などの断面寸法品質、表面品質の制御技

術、およびその高い品質レベルについて述べる。

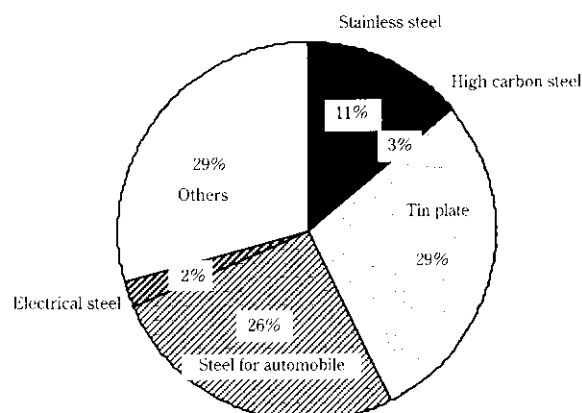


Fig. 1 Product mix at Chiba Works No. 3 hot strip mill

* 平成10年4月13日原稿受付

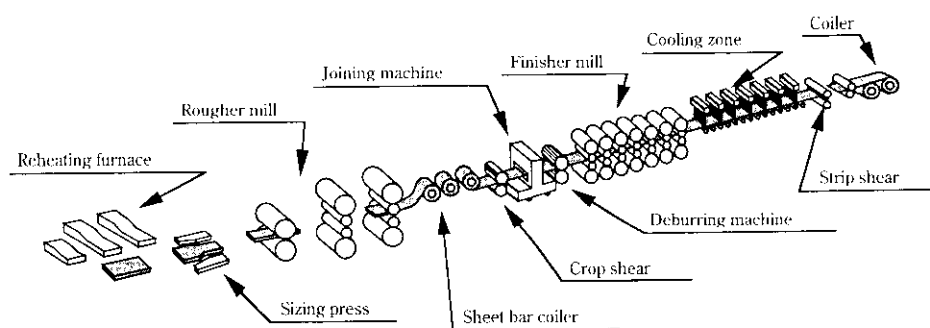


Fig. 2 Layout of No. 3 hot strip mill

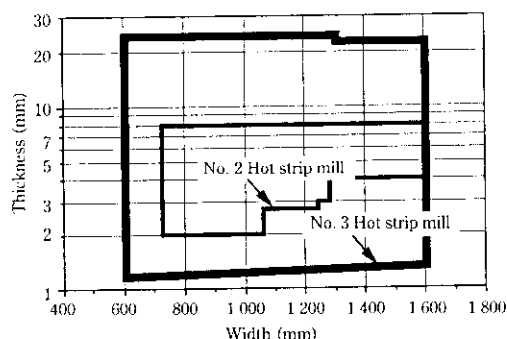


Fig. 3 Available size range of No. 3 Hot strip mill (SUS304)

2 千葉製鉄所第3熱間圧延工場の概要

Fig. 1 に千葉3 HOT の鋼種別圧延量比率を示す。千葉3 HOT の特徴として、ステンレス鋼板、高炭素特殊鋼板、缶用鋼板、自動車用鋼板、電磁鋼板などの高級鋼の多品種生産が挙げられる。これらの製品については表面品質、寸法精度、材質に対し常に厳しい品質要求が寄せられている。

Fig. 2 に千葉3 HOT の設備レイアウト概略図を示す。3 基の加熱炉、サイジング幅プレス、3 基の粗ミル、シートバーコイラー、接合装置、7 基の仕上ミル、冷却装置、ストリップシャーおよび2 基の巻取り機から構成されている。ステンレス鋼板を圧延するにあたってのこれらの装置の特徴は(1)仕上ミルに高剛性強圧下ミルを採用し、圧延限界サイズを拡大させたこと、(2)仕上ミル全スタンドに高速油圧下装置を採用し、板厚精度を大幅に向上させたこと、(3)仕上ミルにベアクロスミルを採用し、他鋼種とのチャンスフリー圧延を実現しつつ安定したクラウン・形状精度を達成したこと、(4)サイジング幅プレスの活用によりエッジシーム疵の低減技術を開発したことである。

Fig. 3 に SUS304 の圧延限界サイズを示す。最大耐荷重 5000t の高剛性仕上ミルの採用により、薄物化が可能となった。

3 高品質製品製造技術

3.1 板厚制御

仕上ミル全スタンドに高速油圧下装置と高応答交流モータを導入し、F4～F7 スタンド出側に配置した X 線厚み計による高精度の板厚制御を実施している。Fig. 4 に板厚制御システム構成図を示す。板厚制御は(1)圧延前に鋼種毎の変形抵抗から圧延荷重を

予測してロール圧下位置を決めるセットアップ制御、(2)最先端の板厚精度を出すための絶対値ゲージメータ方式による自動板厚制御 (AG-AGC) と中間スタンドの X 線厚み計の実績をもとに圧下位置を決定するダイナミックセットアップ (DSU)、(3)バー内の板厚変動に対応するためのミル剛性可変制御 (MMC)、X 線厚み計を用いたモニター板厚制御 (M-AGC) から構成されている。これらの制御により高圧延荷重のステンレス鋼板においても高い板厚精度が実現できる。一例として Fig. 5 に板厚 $2.0 \times 1050 \text{ mm}$ の SUS304 のコイル長手方向の板厚チャートを示す。コイル全長にわたり $\pm 25 \mu\text{m}$ の高精度の板厚を達成している。

3.2 クラウン・形状制御

ホットコイルの寸法精度を決定する要素には板厚、板幅および板クラウンがあるが、特にステンレス鋼板の場合には断面形状が矩形 (デッドフラット) に近い低クラウンの板が求められる。

当社は先駆的にクラウン制御ミルを開発、導入し、1983 年 6 月に千葉製鉄所 No. 1 熱間仕上ミルに 4 段ワークロールシフトミルである K-WRS ミル (Kawasaki Steel work roll shifting mill)⁷⁾を導入したのを初めとして、1983 年 9 月には水島製鉄所熱間仕上ミルに 6 段圧延機である HC ミル (high crown control mill)⁸⁾を、さらに 1986 年 4 月に千葉製鉄所 No. 2 熱間仕上ミルに K-WRS に強力ワークロールベンダーを組み合わせたクラウン制御ミル^{9,10)}を導入した。この結果、ステンレス鋼板のクラウンを従来の 1/3 以下に低減することが可能となった⁹⁾。千葉3 HOT では各種高級鋼を高品質に造り込むことを目的として、より一層クラウン制御能力の高いベアクロスミルを導入した。本ミルはロール軸を互いに交差させてロール間の軸方向ロールギャップを変化させるものである。また、センサーおよび制御機能を充実させるとともに、所望の板プロファイル・平坦度を常に安定して確保するための高精度なクラウン・形状予測モデルおよびそれに基づいた圧延条件の決定ロジックを開発し、品質精度の向上を図った。

Fig. 6 にクラウン・形状制御の概要を示す。これらの制御は大きくセットアップ制御とダイナミック制御に分けられ、制御対象となるアクチュエータはクロス角および WR ベンダー力である。なお、ハイスポットおよびロール摩耗形状の制御を目的として ORG (on-line roll grinder) が装備されている。

セットアップ制御においては、クラウンおよび形状が目標値となるようにクロス角および WR ベンダー力が自動設定される。また、クロス角および WR ベンダー力は Fig. 7 に示すロジックに従い、各スタンドでの形状を安定に保ちつつ製品のクラウン・形状が目標値を達成できるように決定される。

一方、以上のセットアップ制御には圧延荷重などの予測誤差があ

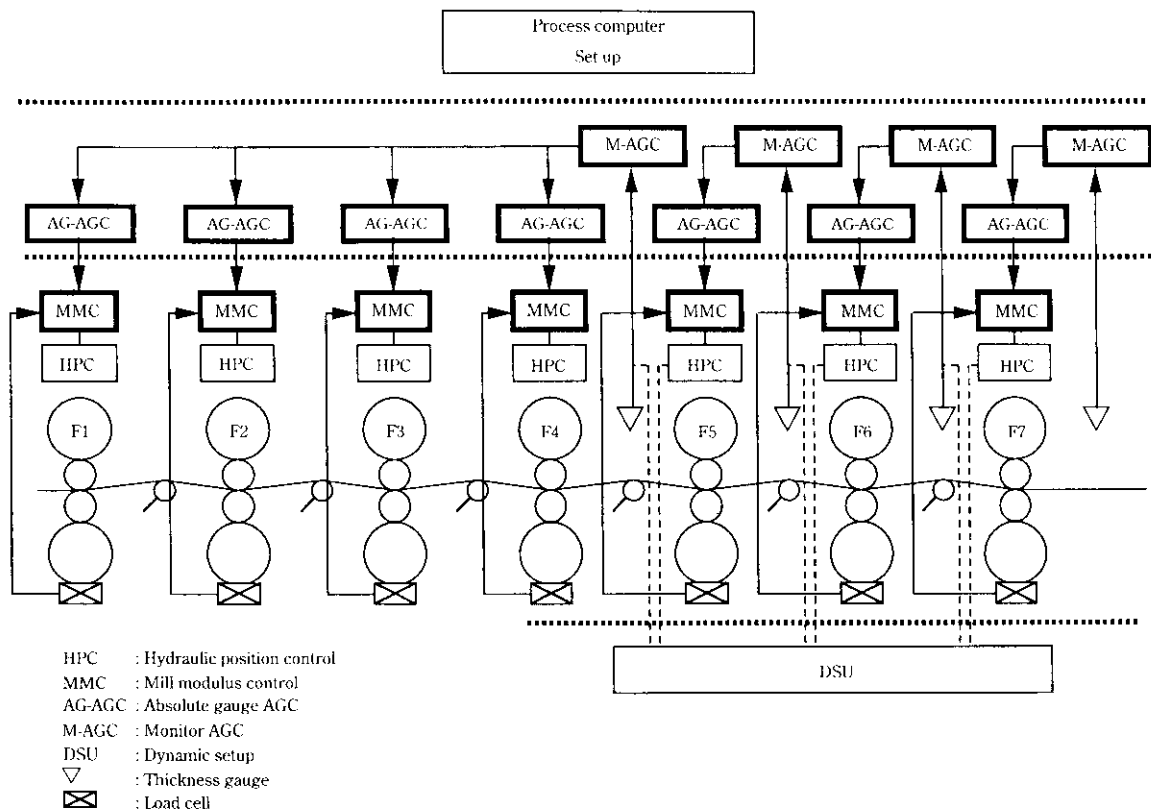


Fig. 4 Outline of automatic gauge control system in No. 3 hot finishing mill

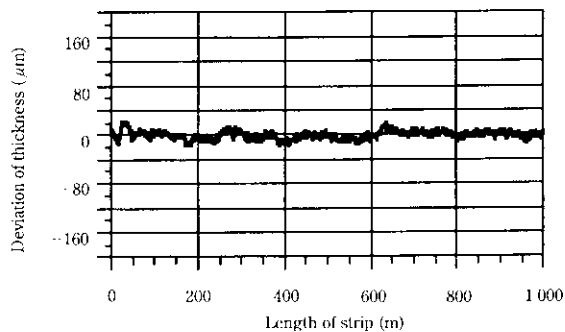
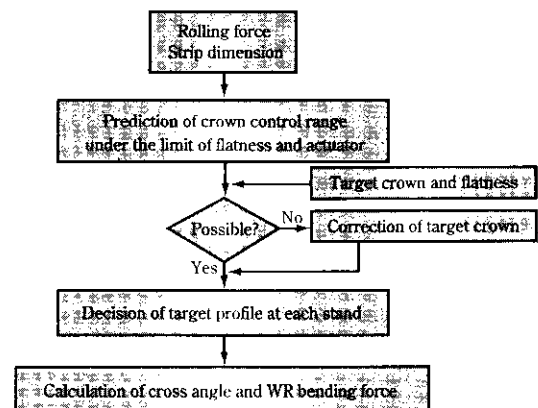
Fig. 5 Strip thickness chart measured by X-ray thickness meter at F7 delivery side (SUS304; 2.0 mm $\times$ 1050 mm)

Fig. 7 Schematic diagram of crown correction plan

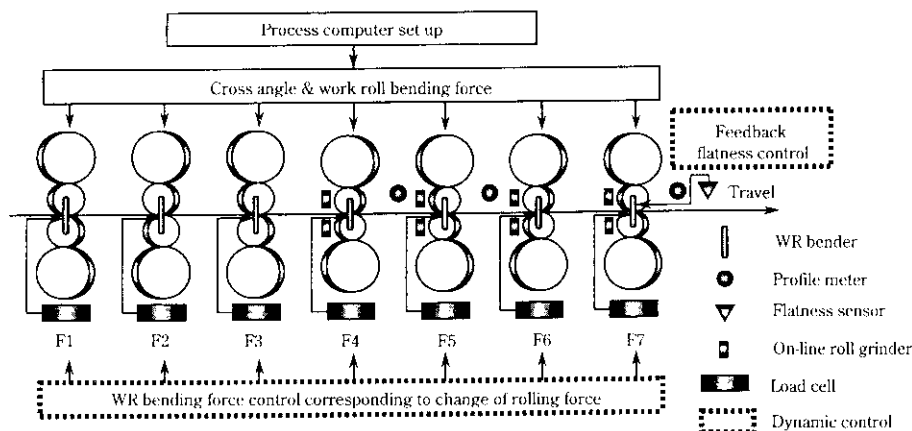


Fig. 6 Outline of crown and flatness control system

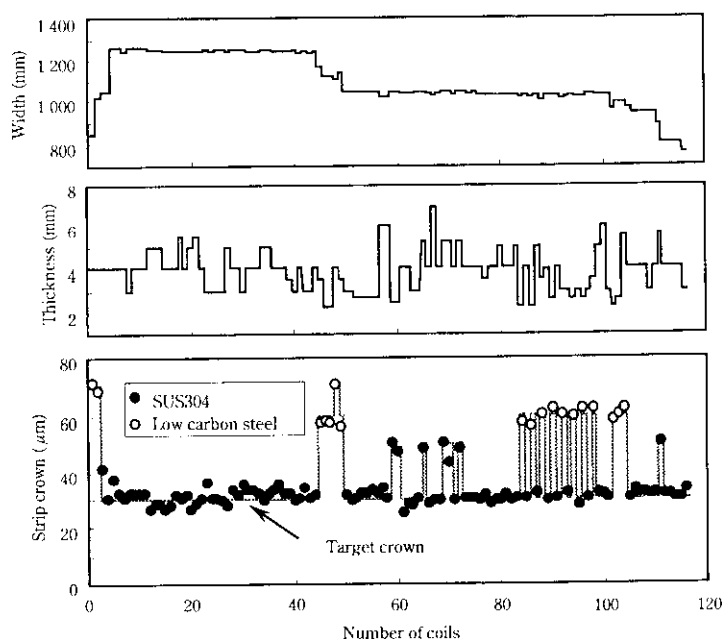


Fig. 8 Change of strip crown in hot rolling schedule

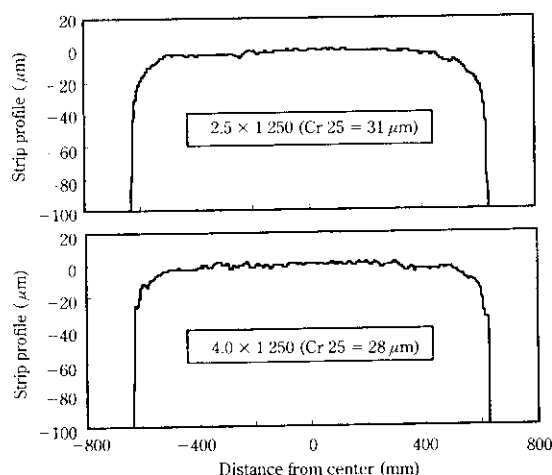


Fig. 9 Typical strip profiles of SUS304 steel

り、さらにコイル内での圧延荷重変化およびサーマルクラウンの成長によってクラウン・形状は変化する。そこで、製品のクラウンおよび形状を目標値に保つため、各スタンドのロードセルにより検出される圧延荷重、仕上出側平坦度計により検出される形状およびリアルタイムで計算されるサーマルクラウンの変動に対してWRベンダー力を変化させるダイナミック制御を実施している。

Fig. 8 に SUS304 圧延スケジュール内の板クラウンの推移の一例を示す。本スケジュールの厚みは 2.3~7.0 mm、幅は 800~1260 mm と変化しており、低炭素鋼との混合圧延となっている。また、目標クラウンは SUS304 で 30 μ m および 50 μ m、低炭素鋼で 60 μ m および 70 μ m であった。SUS304 において厚幅によらず安定して 30 μ m の低クラウンを達成していることがわかる。また、圧延荷重の大幅に異なる低炭素鋼との混合圧延であっても目標どおりのクラウンが得られている。

Fig. 9 に目標クラウン 30 μ m の SUS304 の板プロフィールを示す。ボディクラウンの小さい良好なプロフィールが得られていることがわかる。

3.3 ステンレス鋼板のエッジシーム疵制御

一般にステンレス熱延鋼板の両板端部には圧延方向と平行にエッジシーム疵と呼ばれる線状の欠陥が発生する。高精度プロフィール制御、コイル長手方向の高精度板幅制御により、余幅量は低減され、従来無制御であった板端部に発生するエッジシーム疵が注目されるようになってきた。また厳格な表面品質が要求されるステンレス鋼板では、冷間圧延後エッジシーム疵発生部分は耳切りを余儀なくされるので、製品の歩留りが低下する問題もあり、板端部での高品質化が重要課題になっている。以下、千葉 3 HOT において開発したエッジシーム疵制御技術について述べる。

3.3.1 エッジシーム疵発生機構

エッジシーム疵は粗ミル水平圧延においてスラブ側面に皺が発生し、次パス以降でこの皺が幅拡がりに伴う側面のバルジング変形によって鋼板の表裏面に回り込み発生する。その発生機構を模式的に Fig. 10 に示す。Photo 1 に SUS430 をラボミル熱間圧延により板厚 100 mm から 16 mm まで 6 パスにて圧延したあとの表面および断面性状を示す。板側面には皺が観察でき、板端部にもその皺が回り込んでいることがわかる。このようにエッジシーム疵の発生機構にはスラブ側面に皺が形成される段階と皺が板表層部に回り込む段階に分けらる。したがってエッジシーム疵をプロセス的に制御する場合、側面でのバルジングの制御が重要になる。あらかじめ、粗ミル水平圧延で発生するバルジングに相当する量だけスラブ側面を凹型に形成することによって、側面に発生した皺の表面への回り込みを低減する技術を開発し、適用した。

3.3.2 エッジシーム疵制御

千葉 3 HOT では水平対向金数によるサイジング幅プレス装置を用いて板幅制御を実施している。このサイジングプレスの金数形状を凸形状にすることによってスラブ側面を凹状にし、エッジシーム疵を低減することができる。Fig. 11 に凸形状金数を用いた幅プレスを模式的に示す。

Fig. 12 に凸形状の金数を用いて幅プレスした場合のエッジシーム疵の板端部からの回り込み量を平金数の場合と比較して示す。図中にはエッジャーでのみ幅制御を行う千葉 No. 2 熱間ミルの場合も

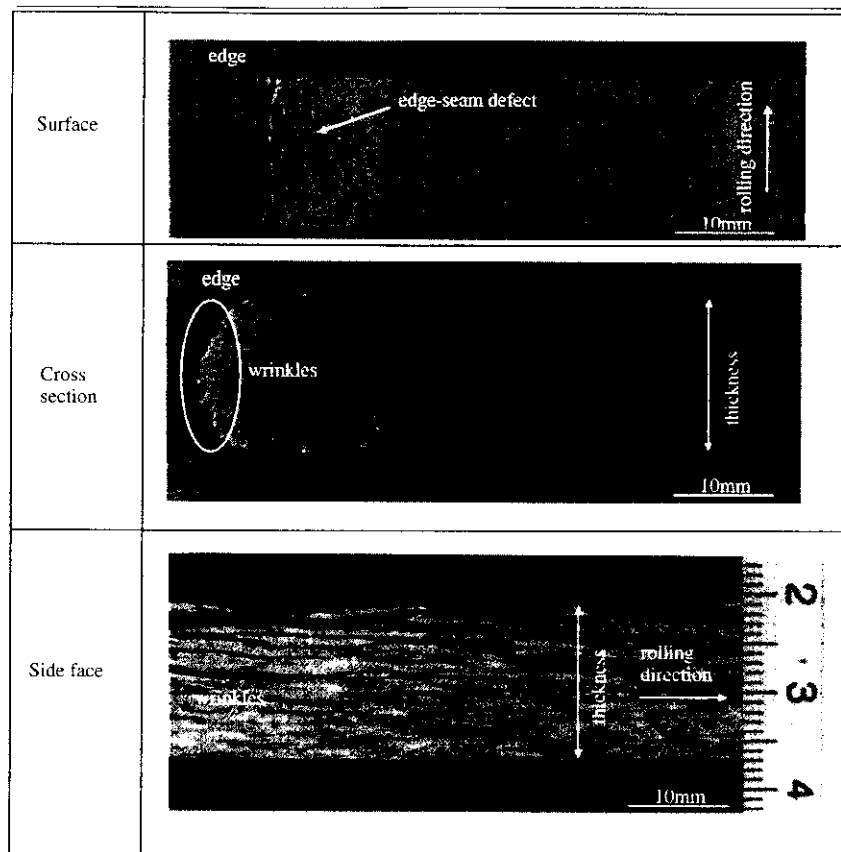


Photo 1 Proportion of edge-seam defects (SUS430)

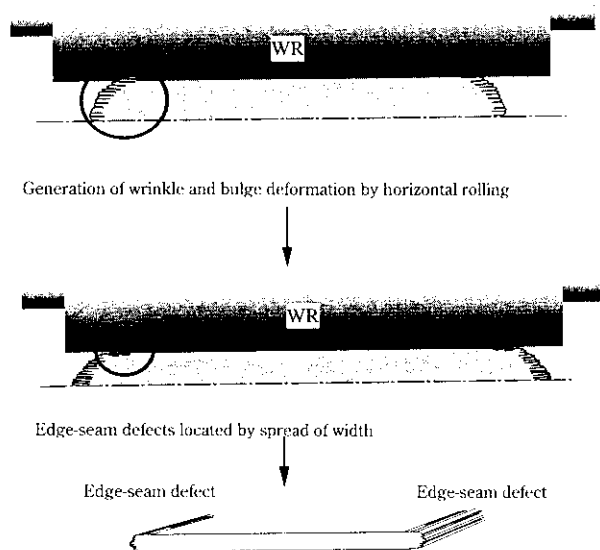
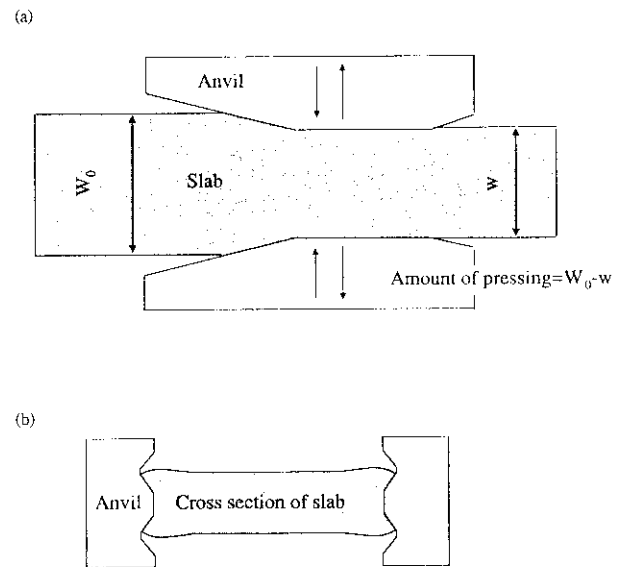


Fig. 10 Outline of generation of edge-seam defect

Fig. 11 Outline of width press system by using convex anvil
(a) ground plan, (b) cross section

併記している。幅プレス量 80~100 mm の範囲で平金敷を使用した場合、エッジシーム疵の回り込み量は 20 mm/片側以上になっている。一方、凸形状の金敷の使用によりエッジシーム疵の回り込み量はほぼ半減している。従来の千葉 No. 2 熱間ミルおよび平金敷使用の場合に比べエッジシーム疵の回り込み量は大幅に低減された。また、平金敷の場合ではプレス量が大きくなるにしたがいエッジシーム疵の回り込み量は増大するが、凸形状の金敷で幅プレスした場合にはその増大量は小さく制御できている。

4 結 言

1995 年 5 月に稼働した千葉製鉄所第 3 熱間圧延工場における熱延ステンレス鋼板の寸法形状品質、表面品質は、高精度高応答板厚制御、ベアクロスミルにおける高精度クラウン・形状のセットアップ制御とダイナミック制御およびエッジシーム疵の制御により飛躍的に向上した。これら品質制御技術の成果を概括して以下に示す。

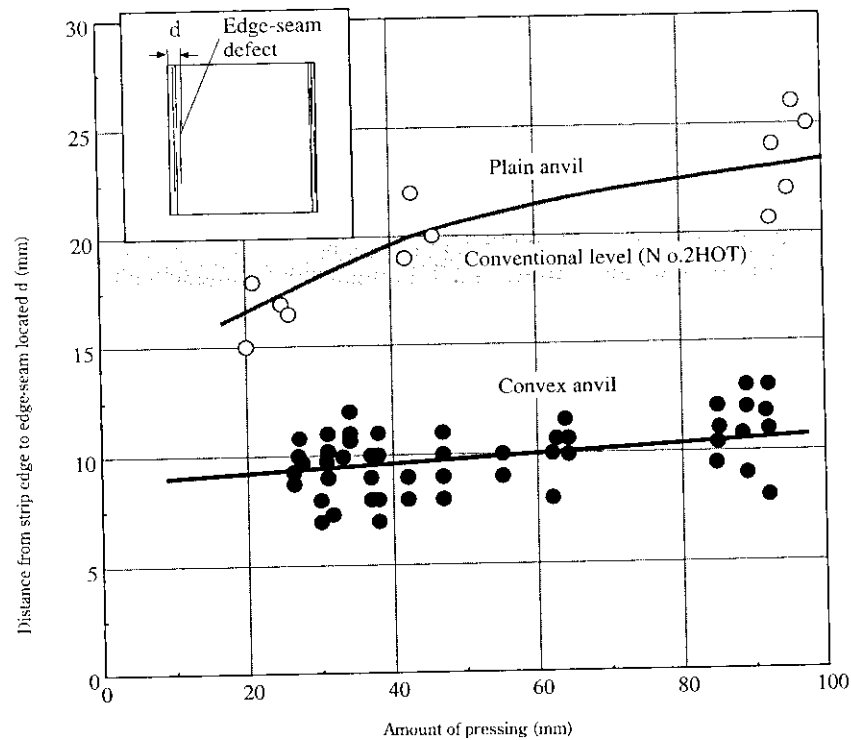


Fig. 12 Comparison of distance from strip edge to edge-seam located between using plain and convex anvil

- (1) 高変形抵抗難圧延材のステンレス鋼板のサイズ拡大を図るとともに、全長にわたり高精度の板厚を達成した。
- (2) スケジュールフリーの操業下においても、安定して低クラウンを達成するステンレス鋼板の高精度クラウン・形状制御技術

を開発した。

- (3) サイジング幅プレスの活用によりエッジシーム疵の回り込み量を大幅に低減する技術を開発した。

参考文献

- 1) 小川靖夫、中村武尚、北尾齋治：川崎製鉄技報，**27**(1995)3，131-135
- 2) 後藤 太、野村信彰、武智敏貞、高野 武：材料とプロセス，**10**(1997)1088
- 3) 今江敏夫、野村信彰、三吉貞行：川崎製鉄技報，**28**(1996)4，219-223
- 4) 江川直人、音田聡一郎、菱沼 至：材料とプロセス，**10**(1997)1089
- 5) 福井義光、足立明夫、竹谷昭彦：川崎製鉄技報，**25**(1993)2，85-89
- 6) T. Takano, K. Matsuda, S. Moriya, N. Shibatomi, Y. Mito, and K.

Hayashi: *Iron and Steel Engineer*, February, (1997), 41

- 7) 仲田卓史、豊川 明、市井康雄、音田聡一郎、豊島 貢、鏑田征雄：鉄と鋼，**70**(1984)4，434
- 8) 広瀬勇次、春日弘夫、浜田圭一、直井孝之、山本義之、金田逸規：鉄と鋼，**70**(1984)4，433
- 9) 高島典生、音田聡一郎、相原正樹、小沢 昇、川瀬隆志、湯沢秀行：材料とプロセス，**3**(1990)2，472
- 10) 音田聡一郎、高島典生、相原正樹、小沢 昇、川瀬隆志、後藤義人：材料とプロセス，**3**(1990)5，1385