
千葉製鉄所第3熱延工場におけるエンドレス圧延技術

Endless Hot Strip Rolling at No.3 Hot Strip Mill in Chiba Works

二階堂 英幸(Hideyuki Nikaido) 磯山 茂(Shigeru Isoyama) 野村 信彰(Nobuaki Nomura) 林 實治(Kanji Hayashi) 森本 和夫(Kazuo Morimoto) 坂本 秀夫(Hideo Sakamoto)

要旨：

川崎製鉄千葉製鉄所第3熱延工場では、シートバー接合技術の開発と連続圧延システムの構築により世界で初めて仕上げ圧延の連続圧延、いわゆるエンドレス圧延を開始した。シートバーの接合には誘導加熱・アップセット法を採用し、シートバーを5秒程度の短時間で接合する技術を完成させた。接合部の強度は母材と同等であり断面にスケールの残留物が存在しない理想的な接合が実現された。接合は仕上げミルの入側において走間で行われ、仕上げミルではスタンド間張力を常時付加した状態の連続圧延が行われる。この結果、品質や生産性、通板性が飛躍的に向上した。また、従来製造できなかった極薄鋼板や薄物広幅鋼板の製造を安定して行えるようになった。

Synopsis：

Fully continuous finishing rolling, so called "endless hot strip rolling", started at No.3 hot strip mill in Chiba Works of Kawasaki Steel for the first time in the world, depending on the development of sheet bar joining process and establishment of continuous rolling system. For joining the head and tail ends of sheet bars, an induction heating and an upsetting method was adopted. This method made it possible to join the sheet bar ends in a short time, like 5s. Strength of joint is equal to its mother materials and no scale residue was found across the joint. Accordingly, an ideal joining technology was established. Sheet bar ends are joined before reaching the finishing mill while the bar moving. Continuous finishing hot strip rolling is performed under an uninterrupted tension between rolling stands. As a result, product quality, like thickness accuracy, productivity and stability of rolling were extremely improved. In addition, ultra-thin Strip and thin-wide strip have been able to be produced without trouble.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Endless Hot Strip Rolling at No.3 Hot Strip Mill in Chiba Works



二階堂 英幸
Hideyuki Nikaido
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室兼設備
技術部設備技術室 主
査(課長)・工博



磯山 茂
Shigeru Isoyama
千葉製鉄所 設備技術
部設備技術室 主査
(課長)



野村 信彰
Nobuaki Nomura
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室 主査
(課長)



林 寛治
Kanji Hayashi
三菱重工(株) 広島製
作所 製鉄機械設計部
圧延プラント課 主務



森本 和夫
Kazuo Morimoto
三菱重工(株) 技術本
部 広島研究所機械プ
ラント研究推進室 主
務



坂本 秀夫
Hideo Sakamoto
三菱電機(株) 伊丹製
作所 応用機製造部応
用機第2設計課 主幹

1 緒 言

通常、熱間圧延工場における仕上げ圧延工程では、シートバーを1本単位で圧延するいわゆるバッチ圧延が実施されている。このバッチ圧延では、板の先端部と尾端部が張力のない非定常状態の圧延となる。このため、製品品質の低下や歩留りの低下、あるいは通板性が阻害されるといった種々の問題が発生する。

このような問題を解決する手段として、仕上げミルの入側でシートバーを接合し連続して仕上げ圧延を行う、いわゆるエンドレス圧延が有効と考えられる。しかしながら、熱間圧延で連続圧延を行うには、接合技術の開発はもとより熱間圧延工場全体にわたる連続圧延システムの構築など難しい課題が数多く存在する¹⁾。

川崎製鉄千葉製鉄所では、第3熱延工場の建設にエンドレス圧延を盛り込むことを前提として、1990年から接合技術の研究開発に着手した。その結果、シートバーを短時間で接合する誘導加熱法による接合技術を開発し、1996年の初めからエンドレス圧延を開始した。本報告では、第3熱延工場におけるエンドレス圧延の概要とその成

要旨

川崎製鉄千葉製鉄所第3熱延工場では、シートバー接合技術の開発と連続圧延システムの構築により世界で初めて仕上げ圧延の連続圧延、いわゆるエンドレス圧延を開始した。シートバーの接合には誘導加熱・アップセット法を採用し、シートバーを5秒程度の短時間で接合する技術を完成させた。接合部の強度は母材と同等であり断面にスケールの残留物が存在しない理想的な接合が実現された。接合は仕上げミルの入側において走間で行われ、仕上げミルではスタンド間張力を常時付加した状態の連続圧延が行われる。この結果、品質や生産性、通板性が飛躍的に向上した。また、従来製造できなかった極薄鋼板や薄物広幅鋼板の製造を安定して行えるようになった。

Synopsis:

Fully continuous finishing rolling, so called "endless hot strip rolling", started at No.3 hot strip mill in Chiba Works of Kawasaki Steel for the first time in the world, depending on the development of sheet bar joining process and establishment of continuous rolling system. For joining the head and tail ends of sheet bars, an induction heating and an upsetting method was adopted. This method made it possible to join the sheet bar ends in a short time, like 5s. Strength of joint is equal to its mother materials and no scale residue was found across the joint. Accordingly, an ideal joining technology was established. Sheet bar ends are joined before reaching the finishing mill while the bar moving. Continuous finishing hot strip rolling is performed under an uninterrupted tension between rolling stands. As a result, product quality, like thickness accuracy, productivity and stability of rolling were extremely improved. In addition, ultra-thin strip and thin-wide strip have been able to be produced without trouble.

果を示す。

2 バッチ圧延の問題点

熱間圧延において行われてきた従来のバッチ方式による仕上げ圧延では、以下に示すような問題点がある(Fig. 1)。

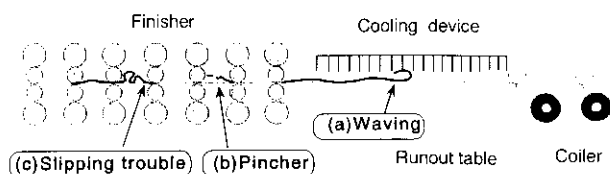


Fig. 1 Problems of the usual "batch process"

* 平成8年11月5日原稿受付

- (1) 板の先端部および尾端部の圧延は張力の作用しない非定常状態の圧延となるため、板厚変動や板クラウン変動あるいは形状不良といった不具合が発生しやすく、品質の低下や歩留りの低下を招く。
 - (2) 薄物圧延材の尾端部の圧延では、絞り込みが発生しやすい。絞り込みが発生すると、ロールが損傷してロール替えを行わなければならない、生産時間の減少とロール研磨費の増大を生じる。現状の圧延技術では絞り込みの問題を完全に克服することはできず、ある程度のトラブルを許容しつつ生産しているのが実状である。
 - (3) 薄物材の先端の通板速度を上昇させると、ホットランテーブル上の板が大きく飛び跳ねるため、通板速度を十分上昇させることができない²⁾。このため、薄物圧延材では、生産性を十分にあげることができない。
- 以上のように、現実的に直面している問題点のほかに、より優れた製品の開発、製造に関する以下のような問題点がある。
- (4) 潤滑圧延において、板先端の噛み込み不良を防止するため、先端から潤滑を実施できず、全長にわたる潤滑が実施できない。

3 エンドレス圧延の狙いと技術的課題

3.1 エンドレス圧延の狙い

エンドレス圧延の狙いは、2章に示したバッチ圧延の問題点を解決するとともに、バッチ圧延における圧延の限界を超えることにある。このような観点からエンドレス圧延の狙いを整理すると、以下に示す4つに大別される。

- (1) 非定常部をなくすことによる品質の安定と歩留りの向上
 - (2) 薄物圧延の安定生産と生産性の向上
 - (3) 従来の薄物材の圧延限界を越えた薄物広幅鋼板あるいは極薄鋼板の製造
 - (4) 潤滑圧延あるいは強冷却圧延による新製品の製造
- これらの具体的な狙いを以下に示す。

3.1.1 品質の安定と歩留りの向上

エンドレス圧延では10本前後のシートバーを接合して仕上げ圧延する。まさに先頭材の先端と最終材の尾端を除けば、仕上げミルからコイラーまで常に張力の付加された状態を維持しており、形状がまったく乱れない理想的な状態の圧延と通板が実現される。

したがって、板厚制御精度や温度制御精度は飛躍的に向上し、先端部の板厚変動や幅変動はほとんど発生しなくなる。また、先端がコイラーに到達するまでの約150mと尾端が仕上げミルを抜けてからの約150mにおいてみられた寸法および形状不良や非定常圧延に起因する品質不良は、エンドレス圧延ではほとんど発生しなくなる。

3.1.2 薄物圧延の安定生産と生産性の向上

通常、熱間圧延工場では製造している1.8mm以下1.2mm以上の鋼板を薄物材と呼んでいる。薄物材の製造では、Fig.1(a)に示すウェーピングと呼ばれるホットランテーブル上における板先端の飛び跳ねと、(b)に示す板の尾端が仕上げミルを抜ける際に発生する絞り込みが問題であった。また、ウェーピングに起因して先端の通板速度は800m/min程度に制限されており、生産性からみると20%程度の通板速度上昇が望ましい。

エンドレス圧延では、シートバーの先端あるいは尾端は全て接合されている。したがって、もはやウェーピングも尾端絞り込みも発生する余地はなくなり、バッチ圧延の先端に相当する接合点近傍の通板速度は1000m/min以上の高速で通板させることができる。こ

れにより、圧延の安定化と、バッチ圧延では頭打ちであった薄物材の生産性の向上が可能である。

3.1.3 薄物広幅鋼板や極薄鋼板の製造

エンドレス圧延の最大の目的の1つに、従来の熱間圧延では安定的に製造することがほとんど不可能に近かった薄物広幅鋼板の安定製造と、極薄鋼板の製造がある。例えば、熱間圧延で製造されている最小板厚は1.2mmに、またその最大板幅は1250mmに制限されている。この制限領域を超えた寸法の板をバッチ圧延すると、2章に示したような先尾端の通板を阻害するトラブルの発生頻度が圧延本数の数10%以上にも達するものと推定され、事実上営業生産が成立しない状況に陥る。

エンドレス圧延では、バッチ圧延で製造が困難な板を先端から尾端まで、張力を付加させた安定な状態で圧延することが可能である。このため、板厚が1.2mmでは板幅は1600mmまでを、また板幅1250mm以下であれば板厚は0.8mmまでの鋼板を製造することができる。

3.1.4 潤滑圧延や強冷却圧延による新材質の安定製造

熱間圧延において強潤滑圧延を行うと、優れた材料特性を示す鋼板の製造が可能である³⁾。しかしながら、現実的にはFig.1(c)に示すように仕上げ圧延における潤滑油噴射による先端噛み込み時のスリップを防止するため、安定的に潤滑されている領域は1本のコイルの中でも長さ中央部の限定された領域となり、品質が安定しにくいといった問題や、歩留りが悪いといった問題がある。

エンドレス圧延では、10本程度の連続圧延において1本目の先端が仕上げミルを通過すると、最終材が仕上げミルを通過するまでの長時間にわたって潤滑を行うことができる。したがって、潤滑を安定的に行うことができると同時に、歩留りの低下もほとんど問題とされない水準となる。

仕上げ出側のホットランテーブル上での強冷却についても同様のことが言える。すなわち、エンドレス圧延では、ホットランテーブル上の板に常に張力を付加できるので、非常に強い冷却を行ったとしても板の通板や冷却むらの問題はなく、全長にわたって均質な材質を得ることができる。

3.2 エンドレス圧延の技術課題

張力変動や板厚変動の少ないエンドレス圧延を実現するためには、特に接合部がバッチ圧延の定常部圧延と同程度の安定性で通板されなければならない。また、当然のことであるが、エンドレス圧延で製造された鋼板に品質や歩留りの低下があってはならない。このような観点からエンドレス圧延の技術課題を整理する。

まず第1の課題は、厚さ20mmから40mm、幅1900mmにもおよぶシートバーの断面を、短時間で接合することである。熱間圧延では、目標とする材質を得るためには圧延材の温度低下はほとんどの場合許されず、仕上げ圧延の入側で接合するために許容される時間は数十秒程度の非常に限られたものとなる。また、短時間で接合できたとしても、張力を付加された状態の仕上げ圧延において破断しないだけの接合強度も要求される。

第2の課題は、仕上げミル前において接合装置にとぎれることなく接合材を供給することである。粗ミル圧延の高精度の圧延ピッチ制御や、接合の段階では先行材に対して後行材を高精度で追い付させる制御が必要となる。

第3の課題は、高速の仕上げ圧延においてオフゲージ長さを最小とすると同時に接合部を破断させないような張力変動の少ない高精度の走間板厚変更技術を確認することである。また、連続圧延で各板の目標通りにクラウンを作り分ける技術、板形状を乱さないよう

な形状制御技術も必要である。

第4の課題は、仕上げ圧延後に連続して供給される薄板を瞬時に切断するとともに複数のコイラーを切り替えて次々と巻き取る技術が必要となる。

いずれの課題についても、従来の圧延技術の水準を大幅に越えており革新技術が要求される。

4 全体レイアウトと設備仕様

4.1 エンドレス圧延のための第3熱延工場の設備構成

Fig. 2 に第3熱延工場の圧延設備例とエンドレス圧延のための主要な技術を示す。

R3ミルの出側から、接合のための設備群が配置されている。接合の起点となるシートバーコイラーは粗ミル圧延のバー間の時間間隔を吸収するバッファ機能を有しており、エンドレス圧延においてシートバーを連続的に供給するための重要な役割を果たしている。シートバーコイラーと接合装置との間にはクロップシャーを設置して

おり、先行材の尾端と後行材の先端とが幅方向に均一に接触するように先尾端のクロップ切断を行う。接合装置は走行台車式であり、20 mの走行ストロークでシートバーの接合を完了させる。接合装置の走行範囲には、昇降可能テーブルを設置しており、ルーバーを用いない走間接合を行う。接合装置の出側には、アップセットにより生じた盛り上がり部を削り取る、いわゆるバリ取り装置を設置している。

巻き取り装置については、連続して供給される板を高速で切断するストリップシャーと瞬時に切り換えつつ高速で先尾端を巻取る高速コイラーを設置している。

各装置の基本仕様をまとめて Table 1 に示す。

4.2 接合設備

エンドレス圧延の最重要設備である接合機の外観を Photo 1 に示す。接合台車には、走行駆動装置のほかに、内部には接合端面を加熱する誘導加熱装置、板をクランプするクランプ装置、クランプした板をアップセットするアップセット装置が設置されている。

誘導加熱装置は今回のシートバー接合のために開発されたものであり、厚さ 20 ~ 40 mm、幅 800 mm ~ 1 900 mm のシートバーの接合端面を 3 ~ 5 s という短時間で接合温度まで昇温することが可能である。非常に高性能な誘導加熱装置である。

クランプおよびアップセット装置は、幅方向に均一なアップセッ

Table 1 Main specifications of endless hot strip rolling equipments

	Items	Specification
Endless rolling	Bar thickness (mm)	20 ~ 40
	Bar width (mm)	800 ~ 1 900
	Min. pitch (s)	45
Sheet bar coiler	Number of peelers	2
	Coiling speed (m/min)	Max. 340
	Recoiling speed (m/min)	Max. 150
Bar joining machine	Type	Self driving with sheet bar carriage
	Driving speed (m/min)	Max. 60
	Heating	Induction heater
Deburring machine	Type	Rotary cutter
Strip shear	Shearing speed (m/min)	1 200
	Shearing thickness (mm)	0.8 ~ 6.0



Photo 1 Sheet bar joining machine

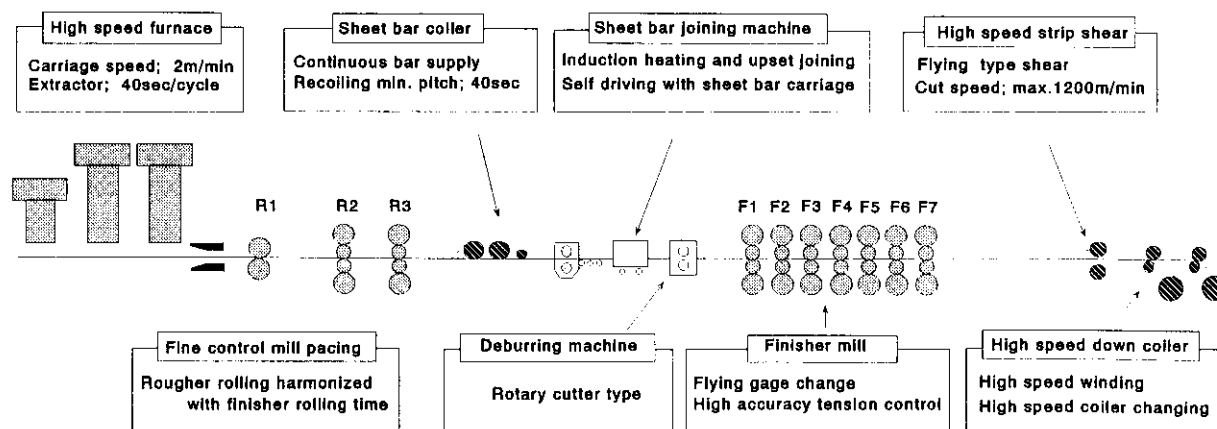


Fig. 2 Endless hot strip rolling equipments and key technologies

トを実現するために剛性の高い機械装置としており、それらの制御系には油圧サーボ装置を採用して高精度な位置および圧力制御を実施している。

接合機の出側にあるバリ取り装置は、熱間鋼のバリを除去するために新たに開発されたものである。切削工具が油圧装置で压下されることにより、搬送中のシートバーの表裏面でかつ全幅のバリが同時に除去される。

5 接合技術

5.1 接合プロセス

Fig. 3 に、接合プロセスの概要を示す。

先行シートバーと後行シートバーをわずかに隙間を開けた状態でクランプし(a)、続いて接合部の誘導加熱を実施する(b)。加熱完了後、アップセットを行って接合する(c)。接合を完了すると、接合装置のクランプを開き、シートバーを仕上げ圧延機側へ進めるとともに、接合装置は次の接合に向けて入側の接合開始位置に戻る。シートバーの接合部にはアップセットによる盛り上がり部が存在するが(d)、この部分は、接合機の出側にあるバリ取り装置で除去される(e)。エンドレス圧延では、以上の(a)～(e)の一連の動作を繰り返す。

5.2 接合技術

エンドレス圧延の開発には多くの課題があるが、このうちで最も技術的に困難を伴う課題は熱間鋼の接合である。シートバーの接合法については、重ね圧延圧接法⁴⁾、突き合わせ圧接法⁵⁾、テルミット溶接法⁶⁾、レーザー溶接法⁷⁾、ジグソーによる機械的接合法⁸⁾、還元炎処理接合法⁹⁾、誘導加熱接合法¹⁰⁾、直接通電接合法¹¹⁾など種々の方法が提案されている。

千葉製鉄所では、事前の接合予備実験の知見と電縫管の接合に誘導加熱が利用されているという実績を考慮して、誘導加熱による接合法に的を絞り、シートバーの断面を母材と同程度の強度で接合することを目標として接合技術の開発に取り組んだ。

Fig. 4 に、第3熱延工場に採用した誘導加熱による加熱の原理を

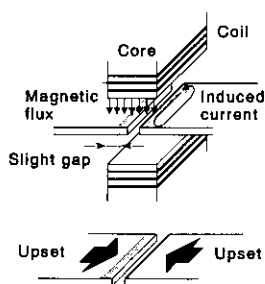


Fig. 4 Outline of joining process

示す。先行材の尾端と後行材の先端との間にわずかの隙間をあけた状態で、シートバーの厚さ方向に交番磁界を印加すると、図に示すように、誘導加熱装置の磁束を打ち消す方向でかつシートバーの接合端面に集中した誘導電流が流れる。シートバーの端面はこの誘導電流によるジュール熱により発熱し昇温する。Fig. 5 に、有限要素法による3次元電磁界解析により計算した電流密度分布の1例を示す。板の端面に電流が集中していること、および板幅方向に均一に電流が分布していることがわかる。

この原理を接合プロセスに適用するために、インダクタ容量の決定やインダクター鉄心寸法の最適化、コイル電流、コイル電圧と接合部の昇温速度との関係の把握、幅方向の均一昇温特性の把握などが重要な課題となる。

Fig. 6 に、実機の加熱試験により得られた昇温速度特性を示す。実験点は最高昇温速度に対する板幅方向各点の昇温速度比率を示している。幅方向に均一に昇温しており、ほぼ全幅にわたって接合可

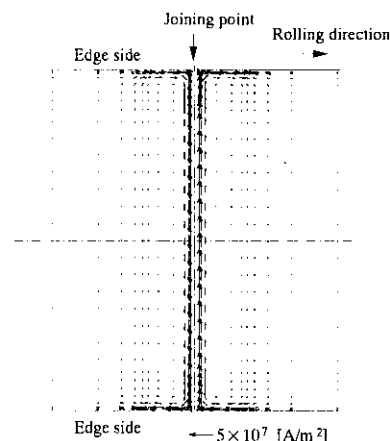


Fig. 5 Distribution of current density on sheet bar surface calculated by FEM (material size 30t × 1000wmm)

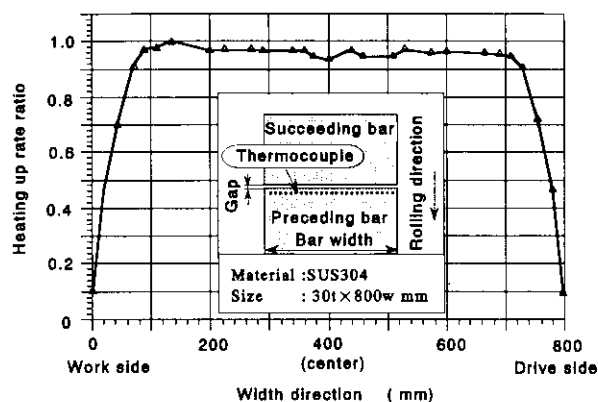


Fig. 6 Distribution of heating up rate ratio at joint between sheet bars

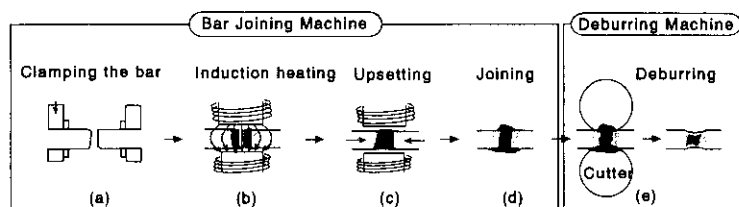


Fig. 3 Outline of the sheet bar joining process (cross section)

能なことがわかる。

Photo 2には、加熱接合後のシートバー断面の組織写真を示す。接合部は完全に密着していると同時に、母材とはほぼ同等の組織が得られている。接合強度に影響を及ぼすと考えられる酸化スケールや硫黄などの介在物は存在しない。接合後の断面から引っ張り試験片を製作し室温における接合部の強度を調べたものが、Fig. 7である。接合部は母材とほとんど同じ強度を有しており、理想的な接合が実現されている。

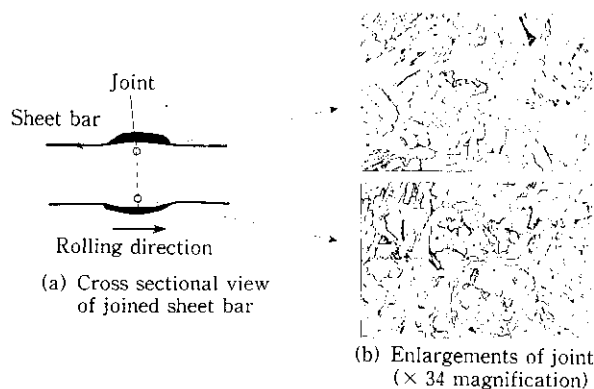


Photo 2 Cross sectional view of joined sheet bars

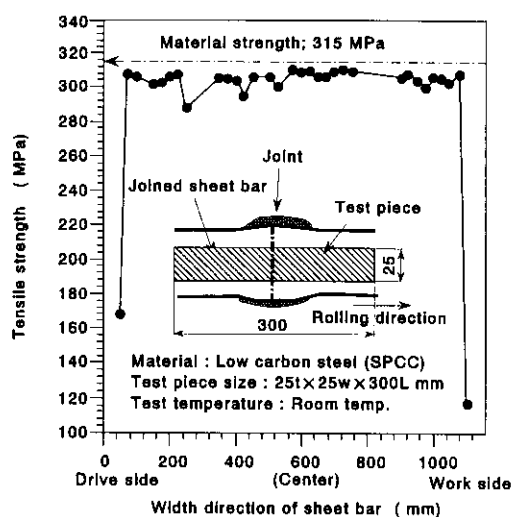


Fig. 7 Tensile strength distribution of joint

5.3 バリ取り技術

盛り上がりを生じた接合部をそのまま圧延すると、圧延により押し込まれて折れ込みが発生する。また、仕上げミルのロールに傷をつける原因ともなる。これらを防止するため、特殊な工具のついた回転刃で上下面の盛り上がり部を全幅同時に除去する方法を開発した。

Photo 3に、バリを除去した後に仕上げ圧延した板の接合部を示す。盛り上がり部は完全に除去されており圧延後のきずは全く認められない。

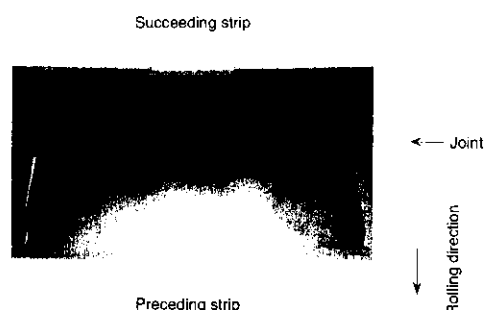


Photo 3 Joint in finish-rolled strip after deburring (strip size; 1200 w × 1.2 mm)

6 エンドレス圧延の成果

6.1 品質の向上

エンドレス圧延材の圧延結果を以下に示す。

Fig. 8にシートバーを10本接合したエンドレス圧延後の板厚を示す。1本目と2本目の接合部および9本目と10本目の接合部では、走間板厚変更を実施している。走間板厚変更前後および、同一厚の接合部前後の板厚変動は極めて小さく、バッチ圧延材における非常圧延領域に相当する部分の板厚精度は $\pm 25 \mu\text{m}$ 以下となっている。Fig. 9には、10本接合のエンドレス圧延におけるエッジ25 mmの板クラウン変化を示す。ロールの熱膨張により板クラウンが徐々に減少するという傾向を示しているが、凹クラウンの発生や形状が大きく乱れるというような現象は発生していない。

Fig. 10には、仕上出側の板形状をバッチ圧延材のそれと比較して示す。バッチ圧延では先端部に3.0%程度の板波が発生しているが、エンドレス材では板波は全く発生していない。極めて良好な製品が

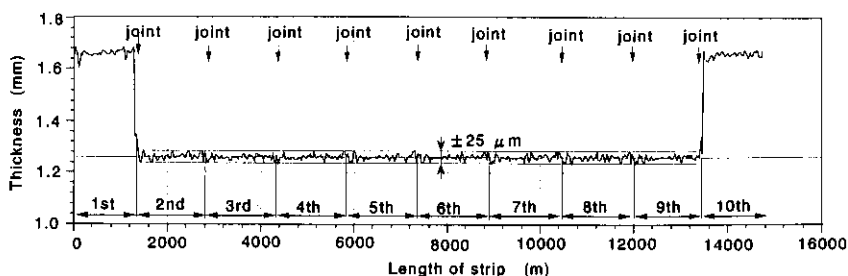


Fig. 8 Strip thickness chart of endless hot strip rolling measured by X-ray thickness meter at F7 delivery side (strip thickness; 1.66 → 1.26 → ... → 1.26 → 1.66 mm)

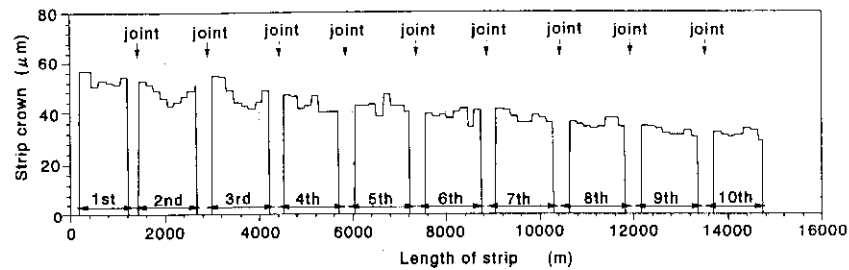


Fig. 9 Changes in strip crown during endless hot strip rolling measured by crown meter at F7 delivery side (strip thickness; 1.66 → 1.26 → ... → 1.26 → 1.66, width; 1220 mm)

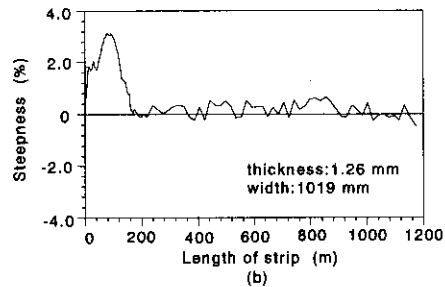
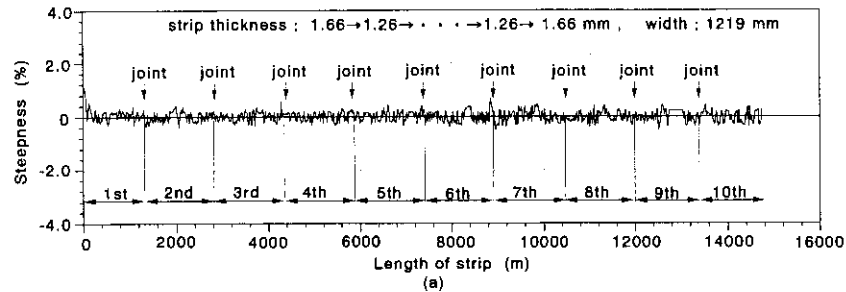


Fig. 10 Steepness chart at F7 delivery side (a) endless hot strip rolling (b) batch rolling

得られている。

エンドレス圧延による製品製造における重要な課題の1つに、ロールの肌荒れ防止と板の表面品質の確保がある。接合圧延を繰り返し行った結果では、ロールに肌荒れは発生しておらず、また板の表面品質についても不良品は発生していない。

全体的に見れば、当初の目的である常時張力を付加した効果により、エンドレス圧延は非常に安定していると言える。

6.2 生産における効果

エンドレス圧延の対象材は1.8 mm以下の薄物材が主体である。これらの生産における効果をTable 2にまとめて示す。

エンドレス圧延の効果で最も大きいものは、生産量が約20%増加することである。圧延速度の上昇およびバー間の無駄時間が無くなることによる効果が大きい。また、先端部の寸法や形状の不良が低減することにより、大幅に歩留りが向上する。

Table 2 Benefits of endless hot strip rolling

Items	Effects	
Quality	Extremely slight changes of thickness over the entire length of the material	$\pm 30 \mu$ on gauge ratio 96% → 99.5%
	Extremely slight changes of width over the entire length of the material	Width margin 6 mm → 3 mm
	Little fluctuation of the coiling temperature over the entire length of the material	$\pm 30^\circ\text{C} \rightarrow \pm 15^\circ\text{C}$
Productivity	Increase of productivity	20% increase
	Elimination of need for time to make unexpected roll changes due to pinchers	90% decrease
Yield	Drastic reduction of shape rejects at the top end and tail end	80% decrease
	Drastic reduction of surface defects due to pincher marks	90% decrease

一方、生産性を阻害していた、尾端の絞り込みや板先端がコイラーのトップガイドなどに突っかけるという事故は全く発生しなくなった。したがって、絞り込みに伴う突発ロール替えの時間は不要となると同時に、絞り込みにより実施していたロールの研磨も不要となりロール原単位も大幅に上昇する。

さらに、通常のバッチ圧延では製造していなかったいわゆる圧延限界を超える寸法の鋼板が、エンドレス圧延による新製品として製造可能となっている。たとえば、板厚1.2 mmの板については板幅1600 mmの圧延が、また、板幅1200 mmの板については板厚0.8 mmの圧延が絞り込み等の問題もなく圧延可能である。また、潤滑圧延についても、当初予定していたとおり、全長を潤滑するということが可能となった。したがって、潤滑効果が格段に安定化している。

7 結 言

圧延における先尾端の品質の安定と通板性の向上、薄物広幅鋼板

や極薄鋼板の製造、全長にわたる潤滑圧延の実施を目的として、仕上げ圧延機の入側でシートバーを接合し、世界初の熱間仕上げ連続圧延を実現するエンドレス圧延技術を開発するとともに、川崎製鉄千葉製鉄所第3熱延工場において実操業を開始した。以下に、その概要と成果を総括する。

- (1) エンドレス圧延を実施するために、シートバーコイラー、接合装置、バリ取り装置およびストリップシャーを設置した。
- (2) 誘導加熱・アップセット法による接合技術の開発により、シートバーを5 s程度の短時間で接合可能とするとともに、実機での接合の結果、接合部の強度は母材と同等の値を得た。また、仕上げ圧延における接合部破断もない。
- (3) エンドレス圧延の実施により、鋼板全長にわたって板厚精度 $\pm 25 \mu\text{m}$ を達成した。また、形状の乱れもなく、圧延は極めて安定している。
- (4) 板厚1.2 mmで板幅1600 mmの薄物広幅鋼板や板厚0.8から1.2 mmの極薄鋼板の安定圧延が可能となった。

参 考 文 献

- 1) 小川靖夫, 中村武尚, 北尾齊治: 川崎製鉄技報, 27(1995)3, 131-135
- 2) 日本鉄鋼協会編: 「わが国における最近のホットストリップ製造技術(第2版)」, (1987), 143
- 3) 松岡才二, 小原隆史, 角山浩三, 左海哲夫, 齊藤好弘, 加藤健三: 日本金属学会秋季講演大会, (1986), 136
- 4) 新日本製鉄(株): 特開昭 51-112458
- 5) 石川島播磨重工業(株): 特開昭 60-240305
- 6) 石川島播磨重工業(株): 特開昭 60-191681
- 7) 新日本製鉄(株): 特開平 6-516875
- 8) 石川島播磨重工業(株): 特開昭 60-148685
- 9) 住友金属工業(株): 特開平 4-200907
- 10) (株)日立製作所: 特開昭 60-244401
- 11) 川崎製鉄(株): 特開昭 61-159285