

討13

スケジュールフリー圧延技術を駆使した新世代熱延ミルの操業

新日本製鐵 (株) 八幡製鐵所 浅村 峻 藪田 俊樹 ○田中 正二
伊藤 洋二 猪井 善生 小田 高士

1. 緒言

従来、熱延の操業は多種・多様な圧延スケジュール制約により、高品質・高生産性を維持してきた。

一方、激変・多様化・短納期化するマーケットニーズへの迅速かつ適確な対応、徹底したコストダウンを図るには、製鋼～熱延一貫製造プロセスでの最適操業を実現する必要性が強まってきた。

八幡製鐵所熱延工場は、昭和57年4月の営業運転開始から、連鑄～熱延の連結・連動操業下で、スケジュールフリー圧延技術(以下SFRと略記)の確立に積極的に取り組み、数々の新要素技術の開発を重ね、昭和60年7月には、従来の熱延操業イメージを一新するコイル圧延幅逆転フリーを定着させた。その結果、異鋼種ミックス圧延、熱・冷片の加熱炉使い分けが自由自在となり、大幅な省エネルギー操業技術と同時に、高品質の熱延コイル製造技術を確立し、世界に先駆け、SFRを駆使した新世代ミルの操業を実現した。ここでは、SFRの主要要素技術とSFR操業の実態について報告する。

2. SFRを支える要素技術

表1に熱延でのスケジュール制約条件と、スケジュール制約緩和のための要素技術を記載する。

従来のスケジュール制約を大幅に緩和し、かつ従来以上の品質を保証する主要要素技術を列記すると

- (1) 幅の大逆転時にも良好なプロフィールを実現しうるワークロールシフト適用技術
- (2) 6Hiミル、強力ベンダーを用いたクラウン・形状自在制御技術
- (3) 頻繁かつ大幅なセット替えの条件下でも高精度を実現しうるセットアップモデル

である。これらのスケジュール制約緩和技術により操業形態の自由度も増し、多品種・小ロット・大規模ミルでの加熱炉使い分けを前提とした、連鑄～熱延の連結・連動操業も実現可能となった。上述の要素技術の内、品質制御関連技術を以下に、また、加熱炉使い分け技術を3節で述べる。

2.1 ワークロールシフト適用技術

2.1.1 新ワークロールシフト法の考え方

図1に示す通り、従来のワークロールシフト法の多くは、ロールシフトによりロールの摩耗分散を図ろうとするものであった。しかし、この方法では、ロールシフト後のロールギャップを考えると、ロール摩耗部が強調される場合があり、この時幅逆転を行うと、これが板に転写され、異常プロフィールの原因になっていた。これに対し、新ワークロールシフト法では、ロールシフト後の上下ワークロールギャッププロフィールに着目するものであり、以下の特徴を有する。

- (1) ロール摩耗、サーマルクラウン予測モデルから得られるロールプロフィールを用いてロールシ

Table (1) Schedule restrictions and new techniques for eliminating the restrictions

Restrictions	Techniques for eliminating the restrictions
Shift from narrow to wider width	Remedy for the strip profile abnormality ・Work roll shift rolling ・6Hi mills with the largest crown control capacity
Rolling length with the same width	
Maximum rolling tonnage without roll change	
Rolling position after roll change	
Number of work roll curves	Unification of roll curves (Crown control system with high accuracy model)
Thickness change	Finisher set up model with high accuracy
Furnace operation for different slab heating temperature	Mixed rolling with different charged slab temperature and with different steel grades

フト後のギャッププロフィールを求め、それを最も平滑化するシフト位置を探索する。

(2) その解が複数個あるときは、ロールプロフィールに着目し、(1)の解のうちで可能な限り摩耗を分散しうるシフト位置を探索する。

(3) さらに複数個の解が存在するときは、サーマルクラウンを最も分散するシフト位置を探索する。

2.1.2 新ワークロールシフト適用結果

表2にワークロールシフトの設備仕様を、図2に異常プロフィール発生率の推移を示す。本シフト法の適用を開始した昭和60年7月以降、異常プロフィールの発生が激減し顕著な効果を発揮していることが分る。

2.2 クラウン・形状自在制御技術

2.2.1 クラウン・形状同時制御ロジック

図3に示す如く粗パー板クラウンから、目標クラウンを達成する解として、後段中延び、後段耳波の2つの極限解を求める。求める解は、両極限解の間にあるが、ここでは、圧延中のダイナミッククラウン制御の余裕代を考え、中間点をもって最適解とする。また、オンライン制御に際しては、ロールプロフィール推定誤差、粗パー板クラウン推定誤差等による外乱が考えられる。そこで、実績クラウンと計算クラウンの差をロールプロフィールの推定誤差として学習を行なう手法を導入し、精度向上を図っている。

2.2.2 オンライン適用結果

図4は、6Hiミルの中間ロールシフト量とロールベンダー力を変化させた時のクラウン値変化を示す。

図5は、ロール組替後の目標クラウンに対する実績クラウンの追従性を示したものであり、各サイズとも、目標クラウンを容易に確保するとともに、スタンド間形状をも良好に保った圧延が実現できている。

Table(2) Specifications

Shift Stand : F1-F6
Shift Range : ±75mm
Type : Screw Drive

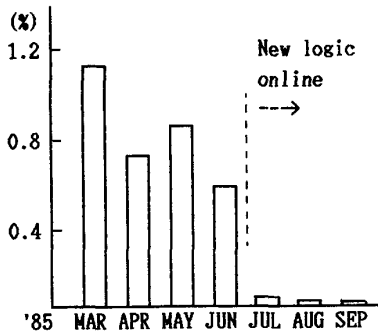


Fig. (2) Percentage of over 20μ "Cat's ear" occurrence on the strip of 1m width

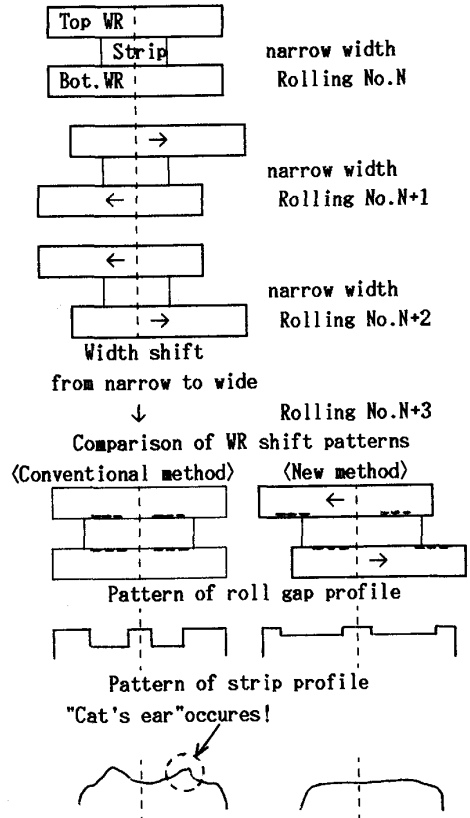


Fig. (1) Very simplified model of "Cat's ear" occurrence

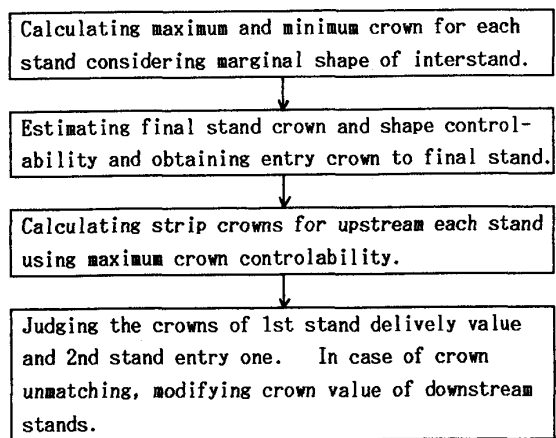


Fig. (3) Algorithm of strip crown schedule for obtaining aimed crown

2.3 高精度仕上設定モデル

2.3.1 仕上設定モデルと摩擦係数の検出

仕上設定の高精度化を目指す上で、ロールと材料間の摩擦係数の評価を行なうことが重要である。そこで、大規模な計算機システムを活用して、鋼種毎、或は、圧延が進むにつれ変化する摩擦係数をオンラインで定量的に把握できる図6に示す先進率計測システムを開発した。すなわち、実圧延で得られる入・出側板厚、圧延荷重に加えて、先進率を測定すれば、Orowanの混合摩擦圧延理論式より摩擦係数を求めることができる。

2.3.2 摩擦係数の算出結果

図7に普通鋼と[S i %]の高い電磁鋼のミックス圧延時のロール組替直後からの摩擦係数の経時変化を示す。普通鋼に比べ、電磁鋼の摩擦係数は高く、また普通鋼は、圧延の進行とともに摩擦係数が低下していく傾向にある。

上述の主要要素技術を中心としたSFRを支える多数の要素技術により、現在は、表3に示すSFR操業の達成状況にある。

3. 連鑄～熱延の最適操業

表3に示す如く、圧延スケジュール作成上の制約条件が大幅に緩和され、加熱炉使い分けを前提とした連鑄～熱延の最適操業が可能となり、その一例として、図8に示す様な熱・冷片ミックス圧延の操業形態が実現した。すなわち、3号炉には、No. 1-CCからトラックタイム15分で送られてくるDHCR材(300T/H)を、1, 2号炉には冷片材、もしくは

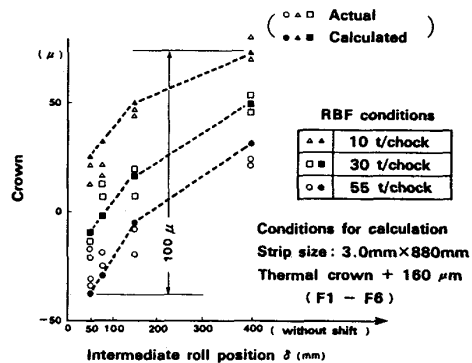


Fig. (4) Crown control capability

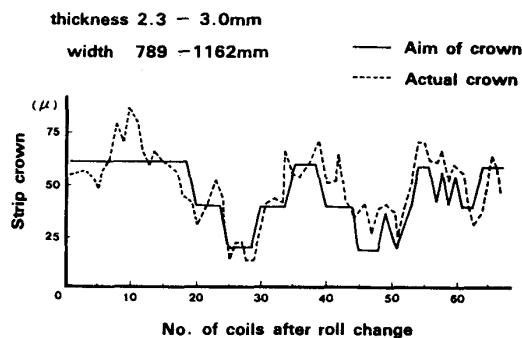
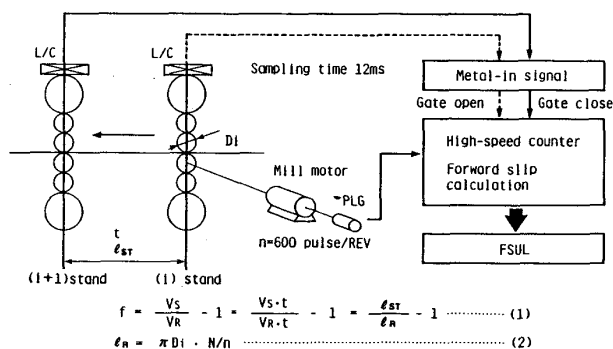


Fig. (5) Result of automatic crown set-up control



where f ; Forward slip
 V_s ; Material speed
 V_R ; WR surface speed
 ε_{st} ; Distance between (i) and (i+1) stands
 ε_n ; Length of MR rev. during the time (t)
 t ; Time between (i) and (i+1) stands metal-in
 N ; Total pulse count during the time (t)
 n ; PLG pulse count per one rev. of WR
 D_i ; WR diameter

Forward slip can be obtained from equations (2) and (1).

Fig. (6) Forward slip measuring system

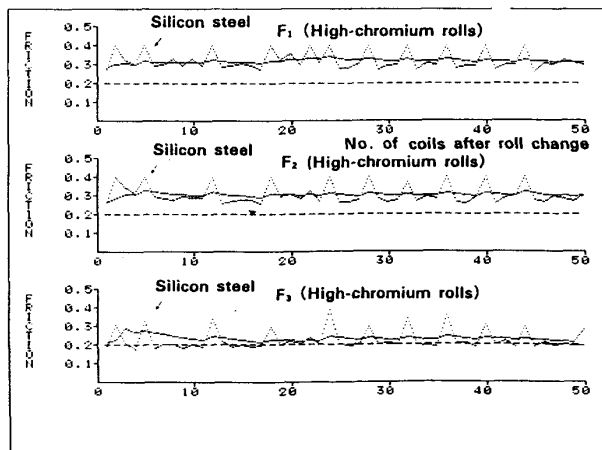


Fig. (7)

Trends of the coefficient of friction (μ) during a mixed grade rolling. (Silicon steel and low carbon steel)

No. 2-CC出片の熱片の幅狭材(960mm以下)を連鑄と熱延間を直結するローテーブルで搬送・装入し、装入温度に応じて加熱炉を使い分ける操業形態をとる。この操業形態を実施することで、生産能力を低下させることなく

- (1) 熱片材の装入温度の高位安定化
- (2) 熱片/冷片切換回数減少による熱ロスの低減
- (3) DHCR炉(3号炉)のT/H向上による炉効率の向上

といった大幅な燃料原単位削減が実現できた。

図9に、熱片装入温度、加熱燃料原単位、HCR率の推移をSFR達成度の代表的指標である許容幅逆転量の推移とともに示した。加熱炉使い分けによる最適操業形態が本格化した昭和60年5月(高炉改修「T-1R」による出鉄量低下時期:昭和60年8月~12月は除く)から、燃料原単位は大幅に低減している。

4. 結 言

熱延関係者の長年の夢でありながら、技術的壁に阻まれ実現できなかった『スケジュールフリー圧延技術』は、八幡新熱延工場建設を契機に計画され、営業運転開始後3年にして当初の目的を達成した。その結果従来の熱延操業のイメージを一新する新世代ミルの操業形態が実現した。今後はスケジュールフリー圧延技術の一層の向上を図るとともに、多品種、小ロット、大規模ミルでの『CC-DRプロセス』を早期に実現したい。

Table (3) Comparison of schedule restrictions

Restrictions	Conventional	SFR
Shift from narrow to wider width	0mm	Free
Thickness change	1/2~2times	1/4~4times
Rolling length with the same width	23Km	90Km
No. of work roll curves	8	1
No. of C.C. slab widths grouping	30	11
No. of mixed rolling with different steel grades	0	5

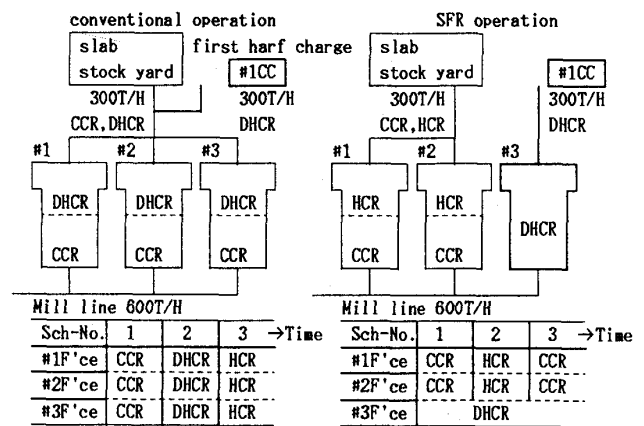


Fig. (8) An example of difference between conventional and SFR operation

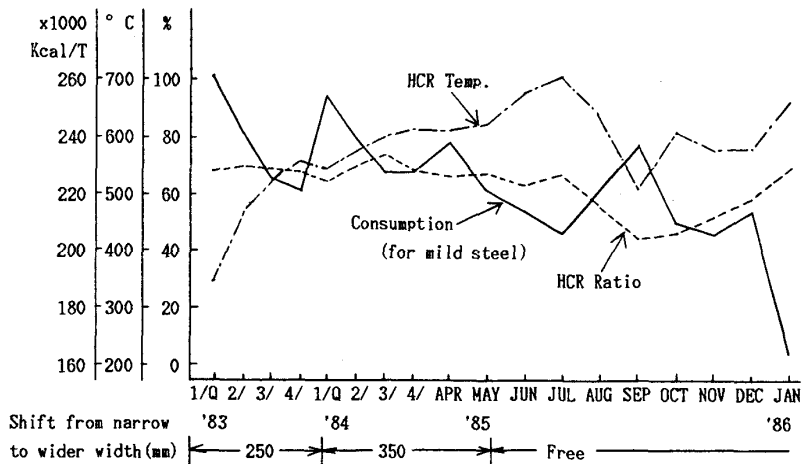


Fig. (9) HCR ratio, charging slab temperature and fuel consumption

< 参考文献 >

- 1) 浅村 他: 鉄と鋼, 72 (1986) 4, S329
- 2) 唐戸 他: 鉄と鋼, 72 (1986) 4, S328
- 3) 小田 他: 昭和59年度塑性加工春季講演会, (1984) 108, 29-32
- 4) 田中 他: 昭和59年度塑性加工春季講演会, (1984) 109, 33-36
- 5) 浅村 他: Advanced Technology of Plasticity, (1984) Vol. 2, 1220-1229