

新日本製鐵式スラブ用高速幅可変モールド“NS-VWM”

Nippon Steel High Speed Variable Width Mold "NS-VWM" for Slab Caster

橘 高 節 生^{*(1)}
Setsuo KITAKA

渡 邊 久 仁 雄^{*(1)}
Kunio WATANABE

神 吉 豊 彦^{*(2)}
Toyohiko KANKI

三 浦 康 彰^{*(1)}
Yasuaki MIURA

抄 録

スラブ連続鋳造設備において幅の異なる鋳片を鋳造する場合、モールド幅を要求サイズに変更するために鋳造をストップしなければならなかった。このような問題に応える技術として、鋳造中にモールド幅を変更する幅可変モールドがある。新日本製鐵は、短辺のテーパ変更と平行移動を組合せ、幅変更速度をより高速化することができる高速幅可変モールド“NS-VWM”を開発した。この設備の特徴及び効果を紹介した。

Abstract

In slab continuous caster, when slabs with different widths are to be produced, casting has to be stopped in order to change the mold width to the required size. The technique to solve such problem is variable width mold which can change the mold width during casting. Nippon steel developed the high speed variable width mold "NS-VWM" which permits us to shift mold width changing speed to higher speed by a combination of change of narrow face taper and parallel movement. In this paper, the features and effects of this equipment are outlined.

1. 緒 言

従来、幅の異なるスラブを連続鋳造(以後連鋳)により製造する場合、モールド幅を要求サイズに変更するために鋳造をストップしなければならなかった。このような欠点を補うため、鋳造中に鋳造を停止せずにモールド短辺を移動することによって幅変更を行う技術(VWM: Variable Width Mold)¹⁻⁴⁾が開発された。この技術により、異なる幅のヒートを連続して鋳造することが可能となり、連々鋳率は大幅に向上した。

一方、連鋳/圧延工程の直結化が進むにつれて、連鋳工程での出片幅と圧延工程での圧延順の同一化の要求や幅可変テーパ部切り捨て屑の減少の要求が高まり、幅変更速度の高速化の要求が高まってきた。

新日本製鐵堺製鐵所では1984年に短辺のテーパ変更と平行移動の組合せにより幅変更を行う新しい考えを提唱し、幅変更速度をより高速化へ移行する技術(NS-VWM: Nippon Steel Variable Width Mold)を開発した。本法により、従来60mm/min(両側)未満であった幅変更速度を最大200mm/min(両側)まで達成し、1.4~1.8m/minの高速鋳造状態においても鋳造速度を低下させることなく幅変更が可能となった。最近では君津製鐵所、大分製鐵所など、新日本製鐵の高生産連鋳機のほとんどにNS-VWMが導入されている。

本報ではNS-VWMの特徴と構造及び高速幅可変による効果について報告する。

2. 従来VWMの原理

従来の幅変更方法を表1^{5,7,8)}に示す。いずれの場合も幅変更速度について制約を受ける。以下に従来の幅変更方法の原理とその幅可変速度制約について説明する。

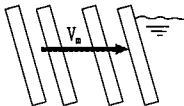
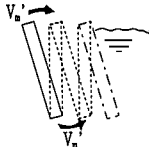
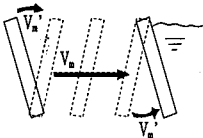
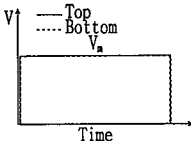
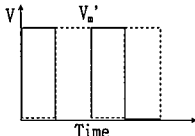
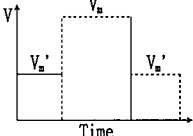
従来法Cの幅変更方法は図1に示すような三つのステップで幅変更を行っている。平行移動中(ステップII)の短辺は、短辺駆動力を小さくすると共に鋳片-鋳型間のエアギャップを小さくするため、図2及び図2中の(1)式で示すように、鋳造速度 V_c で引き抜かれた鋳片位置に平行移動速度 V_m で移動している短辺が一致するだけテーパを傾斜させる必要があり、このテーパ変更及び復帰をステップI及びステップIIIで行っている。

この方法では平行移動速度 V_m を上昇させると、それに応じてテーパ変更量 ΔT を大きくする必要があり、テーパ変更に関与する時間になる。しかし、この従来法では、テーパ変更時間を短くしないとエアギャップが大きくなり、また、テーパ変更時間を短くするためにテーパ変更速度を速くすると、鋳片変形抵抗力が大きくなるという相反する問題があり、平行移動速度 V_m をあまり速くできない。このため幅変更速度の制約が連鋳の高生産性、高歩留まり達成を阻害していた。

^{*(1)} プラント事業部 製鉄プラントエンジニアリング第二部 連鋳・圧延グループ マネージャー
北九州市戸畑区中原46-59 ☎804-8505 ☎093-872-6986

^{*(2)} プラント事業部 製鉄プラントエンジニアリング第二部 制御システムグループ マネージャー(日鉄プラント設計株式会社 鉄鋼電気計装グループ 課長)

表 1 従来の幅変更方法及幅変更速度

Method		A	B	C
Characteristic		Parallel movement	Taper change	Parallel movement and taper change
Narrow-face movement				
Velocity diagram on top and bottom of narrow face				
Width changing speed (one side) mm/min	Width decrease	5	20	32
	Width increase	15	20	6.5

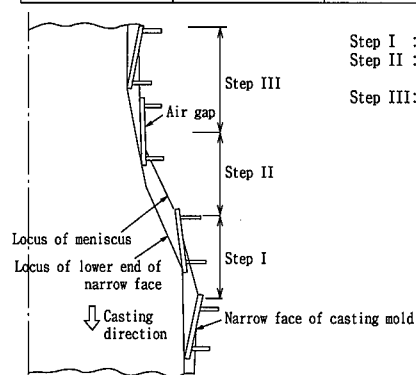
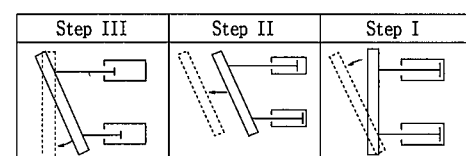
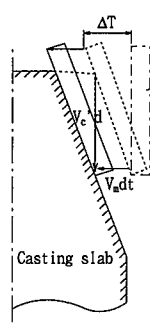


図 1 従来の幅変更方法



$$\Delta T = k h V_a / V_c \quad (1)$$

ΔT : Taper change amount
 k : Taper change coefficient
 h : Casting mold length (from meniscus to lower end)
 V_a : Parallel movement speed
 V_c : Casting speed

図 2 従来法による平行移動時のテーパ傾斜量

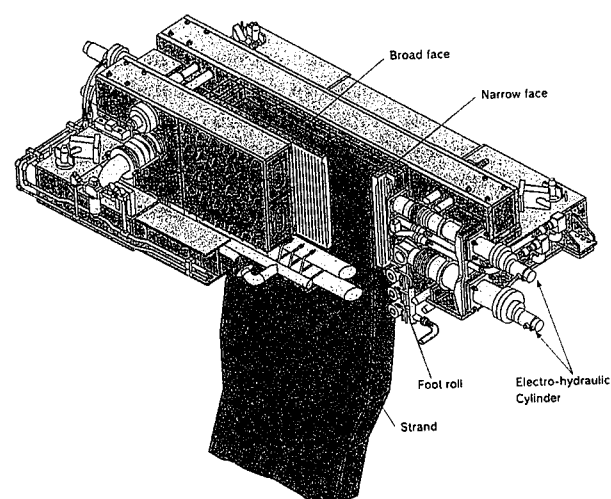


図 3 NS-VWMの構造

表 2 NS-VWMの主仕様

Cast radius	Curved(7,500-12,500mm)/ vertical/ vertical-bend	
Slab size	Thickness	150-400mm
	Width	508-2,200/ 900-2,240mm
Mold length	Min. 800mm, max. 1,100mm	
Casting speed	0.4-2.5m/min	
Type of drive	Four electro-hydraulic cylinders, two (top and bottom) for each narrow-face	
Foot roll (narrow face)	2 rolls/ 3 rolls	
Hydraulic fluid	Water glycol/ mineral oil/ fatty acid ester/ phosphate ester	

3. NS-VWMの構造と主仕様

3.1 NS-VWMの構造

新日本製鐵が開発したNS-VWMの構造を図3に示す。幅変更のためのモールド短辺の駆動装置として電気油圧ステッピングシリンダーを採用し、一つのモールド短辺の上部と下部に各1基設置した。

3.2 NS-VWMの主仕様

NS-VWMの主仕様を表2に示す。

4. NS-VWMの効果

NS-VWMは大幅な歩留まり向上効果がある。図4に幅可変方式によるカットロス量を示す。NS-VWMは他社方式に比べて幅可変時間を短縮し、幅可変によるカットロス量を減少することが可能である。例えば casting 速度1.5m/min, スラブ厚み200mm, 1ストランドマシンにおいて1 550mmから960mmへの幅可変を3回/dayした場合、カットロス量は7 100ton/year減少する。NS-VWMには、その他にも以下に示すような数多くの長所がある。

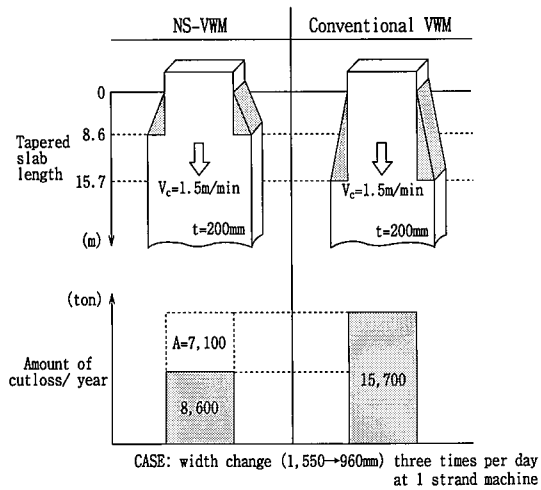


図4 幅可変方式によるカットロス量の比較

- ・ 鑄造速度一定のVWMが可能のために鑄片品質のばらつきを抑えることができる。
- ・ 注文ロッド、サイズ、鋼種に適用した鑄片製造が可能となり歩留まりを向上できる。
- ・ 単一ダミーバーヘッドから鑄造スタートし、要求幅に高速に幅変更可能なため、ダミーバーヘッド交換を不要にし操業準備時間が短縮でき、生産性を向上できる。

5. NS-VWMの特徴

5.1 高速幅変更可能な短辺移動方法

新日本製鐵は短辺のテーパー変更と平行移動の組合せにより、鑄片と鑄型間の関係を常に一定に保つ短辺移動方法を開発した。図5, 6, 7^{9,10,11)}にNS-VWMの幅変更方法を示す。この幅変更方法は短辺のテーパー変更と平行移動を同時に行うことを特徴としている。図8に幅変更中の幅変更速度に対するシェルにかかる力を示す。この短辺移動方法により、幅可変中のシェルと短辺銅板間のエアギャップをなくし、かつシェルにかかる力を常に低い値に平均化することでブレイクアウトや鑄片欠陥を防止しつつ、両側短辺合計で200mm/minでの幅変更速度を可能にしている。表3にNS-VWMと他社方式との比較を示す。

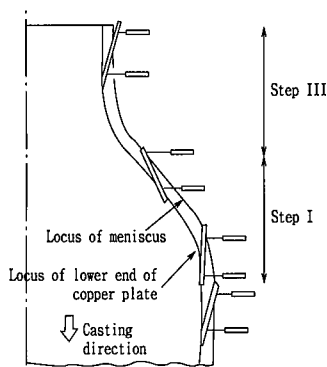
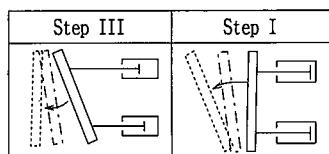


図5 NS-VWMの幅変更方法

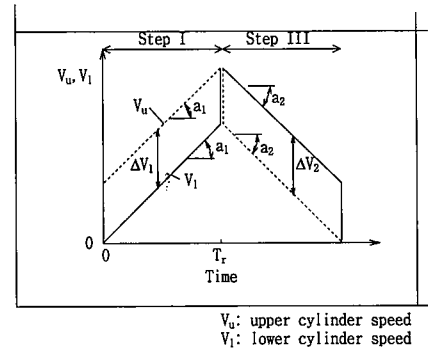


図6 幅変更時間と短辺上下関係の速度の関係

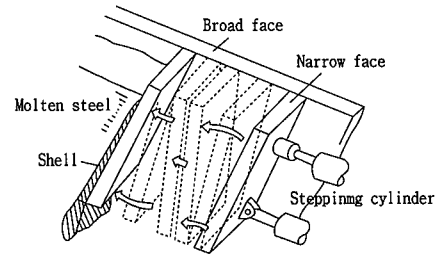


図7 NS-VWMによる幅縮小時の短辺動作状況

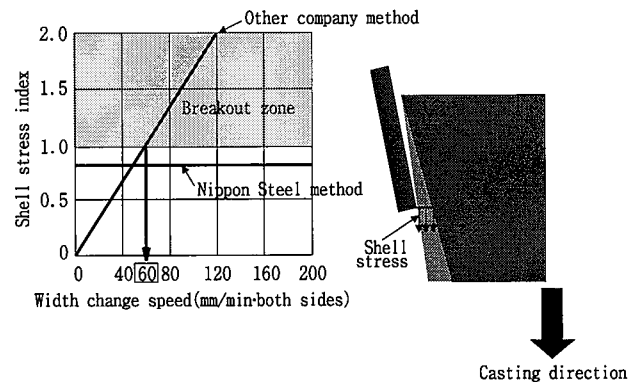


図8 幅変更中のシェル応力の比較

表3 NS-VWMと他社の幅変更方式の比較

	NS-VWM	Other company
Narrow face movement		
Width changing speed	200mm/min (both sides)	60mm/min (both sides)
Air gap	0mm	2-5mm
Shell stress	Constantly low	Fluctuates from low to high
Breakout	None	Occurs when accelerating
Shell defect	None	Occurs when accelerating

5.2 高い短辺位置精度

新日本製鐵は電動モータータイプと電気油圧ステッピングシリンダータイプの両方のタイプを開発し、実操業にて性能を評価した結果、高い幅可変移動精度、テーパー精度からNS-VWMに電気油圧ステッピングシリンダータイプを選択した。図9に電動モータータイプとステッピングシリンダータイプの幅可変精度の比較を示す。ステッピングシリンダータイプは、アクチュエーターそのものの精

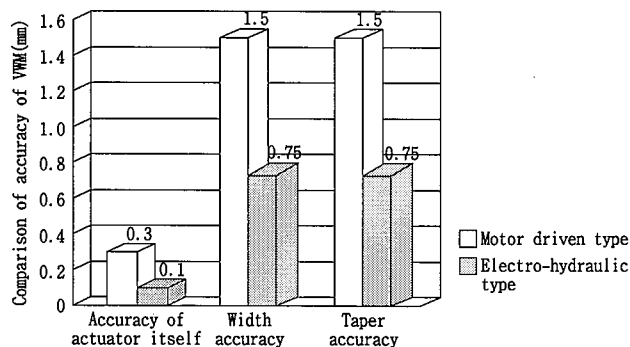


図9 電気油圧ステッピングシリンダータイプと電動モータータイプの幅変更精度比較

度も高く、かつがたを発生する部品も少ないため、制御に忠実な短辺移動が可能となり、ブレイクアウトや鑄片欠陥を防止する。

5.3 メンテナンスの容易性

表4に電気油圧ステッピングシリンダータイプと電動モータータイプのメンテナンス性の比較を示す。電動モータータイプは回転運動を移動運動に変換するための部品点数が多いため、メンテナンス性が悪く、それら機械部品のがたが蓄積するため幅可変精度が確保できない。一方、電気油圧ステッピングシリンダータイプは機械品一つ、電気品二つと非常にシンプルな構造のためメンテナンス性に優れている。図10にNS-VWMの電気油圧ステッピングシリンダー部の外観を示す。

5.4 幅可変制御システム

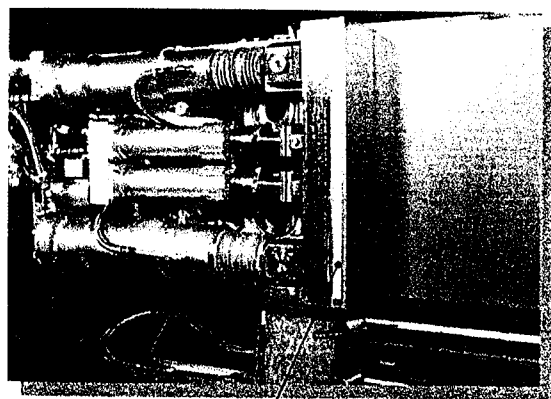
前述の高速幅可変動作を実現するために、制御主幹部は高速演算処理装置(PLC)で構成される。図11にNS-VWMのシステムダイアグラムを示す。PLCにより、上下シリンダーの位置、速度からモールドの上下端の位置、速度をリアルタイムで演算すると同時に、最適なモールド上下シリンダーの速度パターン制御値を決定し、電気油圧ステッピングシリンダー側にリアルタイムで速度指令を出力する。これにより、幅可変中において鑄造速度などの操作条件が変化

しても変化後の操作パラメーターに対応した幅可変が可能である。

NS-VWMシステムでは連続鑄造の状態(現在幅、テーパー、鑄造速度)、変更後の設定幅、テーパーに応じて最適な幅変更速度パターンを決定し、一連の幅変更動作を完全自動で行う。従って、オペレータの複雑な操作は一切必要がない。操作盤には幅変更速度、

表4 電気油圧ステッピングシリンダータイプと電動モータータイプのメンテナンス性の比較

	Nippon Steel	Other companies
The number of mechanical parts	Only one (stepping cylinder)	Many (spur gear, worm gear, trapezoid screw, bearings, etc.)
The number of electrical parts	Two (stepping motor, motion detector)	Many (electric motor, position transmitter, electric-magnetic clutch, electric-magnetic brake, etc.)
Construction	Very simple	Very complicated
Maintainability	Excellent	Not good



Teflon sheet

図10 NS-VWMの電気油圧ステッピングシリンダー部の外観

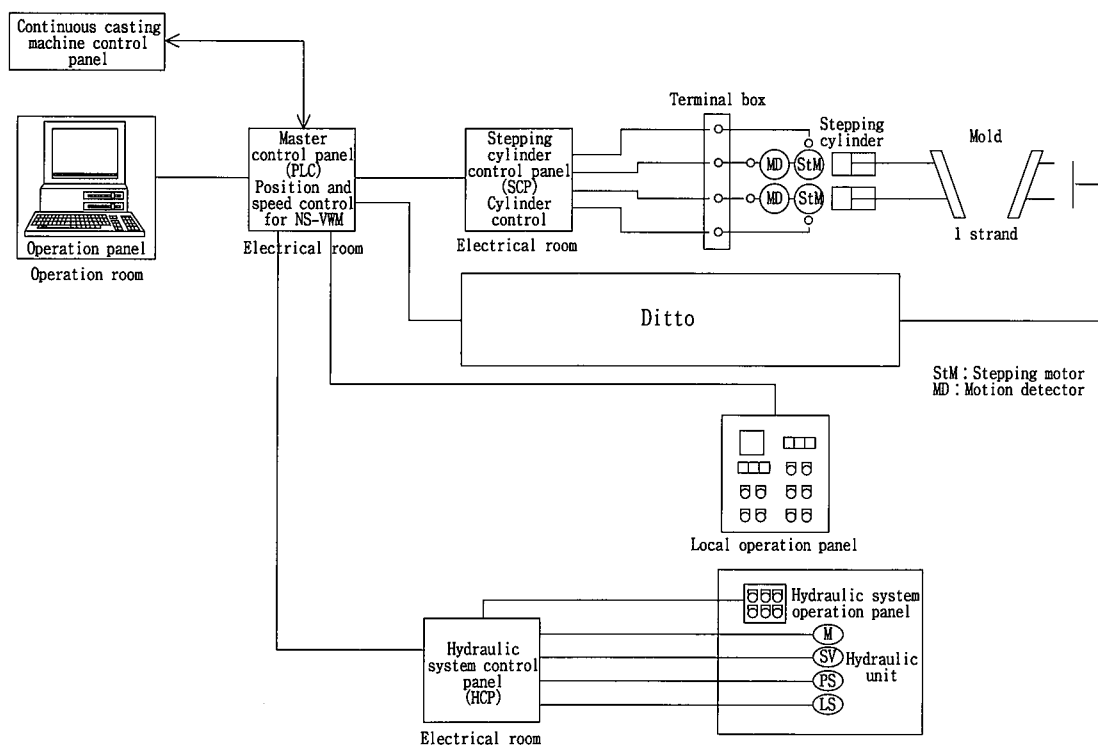


図11 NS-VWMのシステムダイアグラム

現在幅、現在テーパ値が表示され、オペレータは幅変更時、非変更時にかかわらず、モールドの状態を常時監視することが可能である。幅変更途中にアクチュエーターの電気油圧ステッピングシリンダーに故障が発生した場合は、鑄造ストップにならない状態で短片を動作させるフェイルセーフ機能を有し、幅可変作業に対して高い安全性を確保している。

5.5 NS-VWMの銅板の長寿命化方法

VWMが導入されて以来、銅板の寿命低下が大きな問題となっている。図12に銅板の典型的な欠陥を示す。ほとんどの銅板表面欠陥はメニスカス近傍と銅板下端にみられる。これらの内、メニスカス近傍のきずは幅可変が作動したときの短辺と長辺との摩擦によって生じる。

新日本製鐵では銅板の寿命を延長させるために次のような機能も追加することが可能である。

5.5.1 テフロンシート

図13に短辺にテフロンシートを挿入した図を示す。新日本製鐵では短辺の摺動面にテフロンシートを挿入し短辺の横移動時の摩擦係数を減少することで、幅可変によるメニスカス近傍のきずを防止している(図10参照)。

5.5.2 クランプ力調整機構

クランプ軸の片側に取り付けた油圧シリンダーの圧力調整機構により、スラブ幅、鑄造速度、幅変更速度などの刻々と変化する作業要因に対応して、常に短辺クランプ力を最適設定可能である。図14に油圧シリンダーによる圧力調整にてクランプによる摩擦力を調整する機構を示す。これらにより銅板の寿命を延長し、銅板の改削や交換頻度を減少させ、メンテナンスコストを縮小することが可能である。図15に銅板の寿命延長効果を示す。

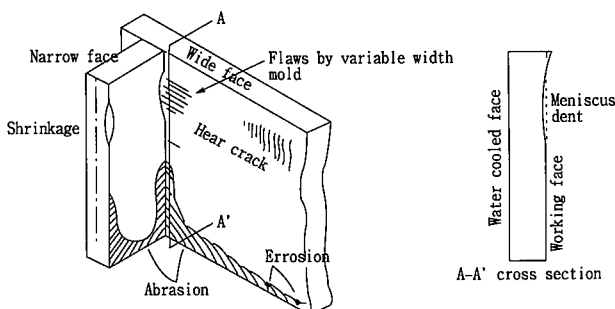


図12 銅板の欠陥

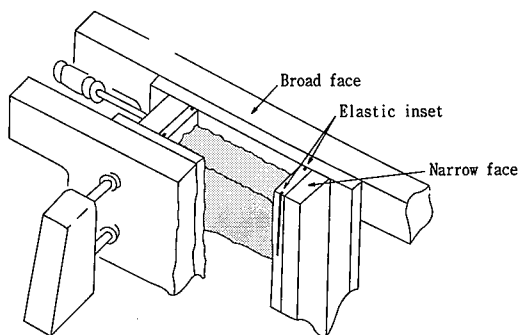


図13 短辺にテフロンシートを挿入した図

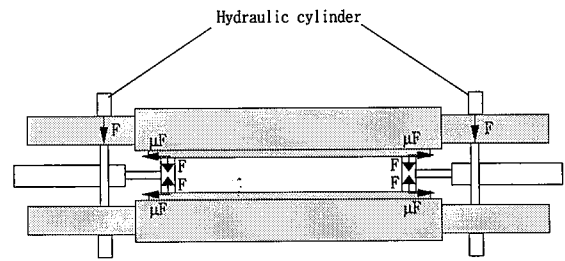


図14 油圧シリンダーによるクランプ摩擦力調整機構

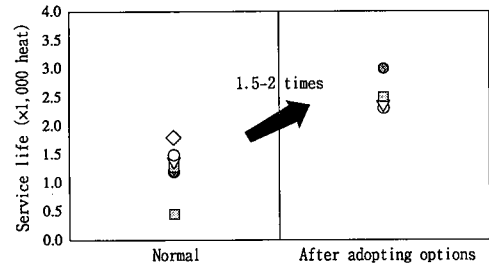


図15 NS-VWMの銅板の長寿命効果

6. 結言

NS-VWMは以下のような特徴がある。

- 短辺両側合計で200mm/minの高速で幅可変可能なため、幅可変時のカットロス量を減少でき、歩留まりが向上する。また、小ロット、多品種かつ大量生産を行う熱間圧延スケジュールにも高歩留まりにて対応することが可能である。
- 電気油圧ステッピングシリンダータイプを採用することで幅可変位置精度が高いため、ブレイクアウトや鑄片欠陥を防止できる。
- 電気油圧ステッピングシリンダーのみによる短辺移動のため構造がシンプルでありメンテナンスが容易である。
- テフロンシート、クランプ力調整機構により銅板寿命を延長可能である。

参考文献

- 1) Murakami, M., Fukushima, Z., Hashimoto, S., Shibamoto, S., Hamano, T., Tanno, H.: Tetsu-to-Hagané. 63, S81 (1977)
- 2) Ohya, R., Kodama, F., Matsunaga, H., Hashimoto, S., Yamanouchi, H.: Tetsu-to-Hagané. 63, S89 (1977)
- 3) Takemura, Y., Takahashi, R., Takuma, S., Takeuchi, T.: Tetsu-to-Hagané. 64, S127 (1978)
- 4) Fukushima, K., Ueda, N., Koshikawa, T.: Tetsu-to-Hagané. 64, S618 (1978)
- 5) Ohmori, T., Ohnishi, M., Kojima, S., Yamamoto, Y.: Tetsu-to-Hagané. 63, S90 (1977)
- 6) Ohmori, T., Maeda, M., Ohzu, H., Fujimura, Y., Yamazaki, J., Obama, T.: Tetsu-to-Hagané. 65, S148 (1979)
- 7) Take, H., Hina, E., Maeda, M., Emoto, K., Takamura, A., Yamazaki, J.: Tetsu-to-Hagané. 66, S148 (1980)
- 8) Tsubakihara, O., Ohashi, W., Kubota, M., Funatsu, K.: Nippon Steel Technical Report. 23, 77 (1984)
- 9) Tsutsumi, K., Ohno, H., Ninomiya, K., Ohashi, W., Tenma, M., Tsubakihara, O.: Tetsu-to-Hagané. 71, S147 (1985)
- 10) Ninomiya, K., Narita, Y., Tenma, M., Fujiki, K., Ohashi, W., Tsutsumi, K.: Tetsu-to-Hagané. 71, S148 (1985)
- 11) Tenma, M., Hirohama, S., Ninomiya, K., Ohashi, W., Matsushita, A., Tsutsumi, K.: Tetsu-to-Hagané. 71, S149 (1985)