

討10

厚板圧延における平面形状制御方法について

川崎製鉄㈱ 水島製鉄所

平井信恒 吉原正典 坪田一哉
菊川裕幸 ○西崎 宏

1. 緒言

厚板製品は、船舶、橋梁、圧力容器、一般構造物およびパイプ用素材など各種分野で大量に使用されているが、ラインパイプへの用途を除けばそのほとんどが一品生産に近い多品種小ロット生産である。これは、製造している規格数が数百種類におよびしかもこれに板厚、板幅および板長さなどの寸法の注文が加わるため一品生産に近くなるのである。この意味からも、使用素材重量に対する注文製品採取重量の割合を示す厚板注文歩留は、厚板の技術水準を示す指標となっている。この注文歩留の向上をはかることは厚板関係者の重要な使命となっており、結果的にはコストダウンにも直接つながっている。図1に、川鉄水島製鉄所の厚板工場における注文歩留の推移を示す。注文歩留の向上をはかるには

- (1) 指定された寸法および品質の厚板を製造する技術。
- (2) 各種各様の注文を有効に組み合わせるスラブ設計や、転炉等の溶製炉能力に合わせる、いわゆる素材設計技術。

が必要である。ここでは、圧延した鋼板の平面形状をできる限り指定された寸法すなわち矩形に近づけるいわゆる平面形状制御技術、および異なる幅の注文の組み合わせに対処する異幅圧延技術の紹介とその技術の厚板注文歩留への寄与について述べる。

2. 鋼板平面形状と歩留の関係

2. 1 従来圧延によって生じる鋼板平面形状

一般に平板の圧延においては、断面積が減少し、圧延方向に長くなると同時に幅方向にも変形し、幅拡がりが生じる。幅拡がりの現象は、被圧延材の先後端でより大きくおこるため、圧延後の鋼板の平面形状が矩形から外れてくる。この現象は、厚板圧延においては主として板厚が厚い段階、すなわち成形圧延および幅出し圧延でおこり、圧延終了時の平面形状はそれぞれの段階で生じた変化が複合されて形成される。

成形圧延および幅出し圧延の過程で生ずる平面形状変化を図2に示す。これらの変化は、基本的には同一のものである。

図2のAおよびA'部は、先後端の局所的な幅拡がりにより生じたものである。また、BおよびB'部は、鋼板幅方向両端部が中央部に比べ幅拡がり大きいことにより長さ方向に伸び率の差が生じ、凸形状となったものである。さらにこれはAおよびA'部の局所的幅拡がりの影響により助長されている。したがって、圧延終了時の、鋼板平面形状は、スラブ寸法、圧延寸法および幅拡がりの影響因子によって決定されるといえる。すなわち、幅方向圧延比（圧延幅／スラブ幅、

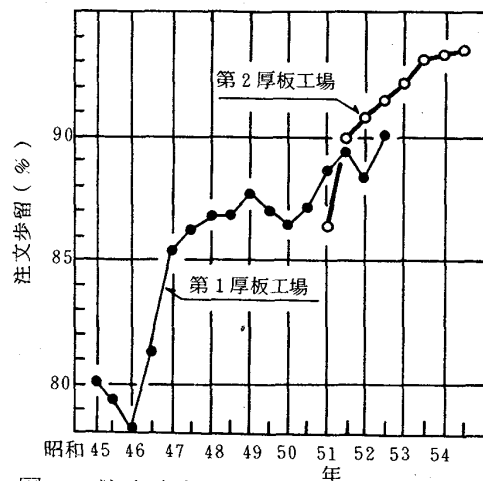


図1. 注文歩留の推移
(川鉄水島の厚板工場の例)

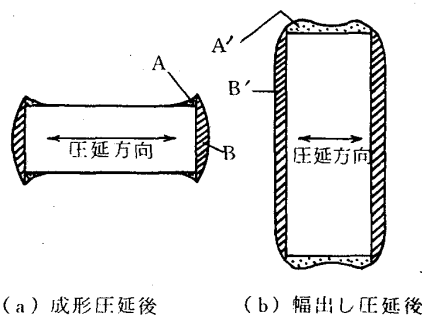


図2. 圧延過程における平面形状の変化

以下幅出し比と称す)が小さく、長さ方向圧延比(圧延長/スラブ長)が大きい場合には図2のAおよびB部の影響が大きくなり、圧延終了時の平面形状としてはトップ、ボトムクロップが凸形状に、サイドクロップは、ツヅミ形状となる。一方、幅出し比が大きく、長さ方向圧延比が小さい場合には、幅出し圧延時のA'およびB'部の影響が大きくなり、トップ、ボトムクロップは凹形状に、サイドクロップはタイコ形状になる。

2. 2 幅、長さの異なる寸法の組み合わせ¹⁾

図3に、幅、長さの異なる寸法組み合わせの例を示す。

このような組み合わせは従来から行なっているが、スラブ単重を大きくし、かつ鋳造ロットを大きくすることによって、連鋳スラブの使用の拡大をはかるため、この組み合わせ比率が高くなっている。しかし、図3の斜線で示した幅および長さの異なる部分は、いわゆる歩留ロスとなり、川鉄水島製鉄所では1~2%に達している。

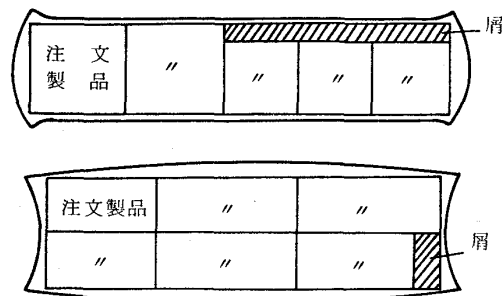


図3. 幅、長さの異なる寸法組み合わせ

3. M A S 圧延法 (Mizushima Automatic Plan View Pattern Control System)

3. 1 M A S 圧延法の原理^{2)~5)}

M A S 圧延法は、厚板圧延時に鋼板の不均一塑性変形によって生じる圧延長さ方向先端部および幅方向端部の形状不良部分いわゆるクロップを、厚板圧延中に制御し、圧延終了後の鋼板平面形状の矩形化をはかる方法である。図4に、成形圧延時に圧延方向に長さ変化を与えて幅方向端部のクロップ(サイドクロップ)を制御するM A S 圧延法を示す。すなわち、

- (1) 平面形状予測モデルより、サイドクロップ形状の変化量を求め、これを成形圧延最終パス時の圧延方向長さ変化量に換算する。
- (2) 成形圧延最終パスにおいて、圧延方向の対応する位置で所定の長さ変化を与えて圧延する。
- (3) 次の幅出し圧延のために90°転回することによって圧延方向の長さ変化が圧延に直角方向の長さ変化となる。
- (4) 幅出し圧延では、幅方向の長さ変化によって端部から中央部にかけて圧下率が異なることから、サイドクロップ形状が制御される。

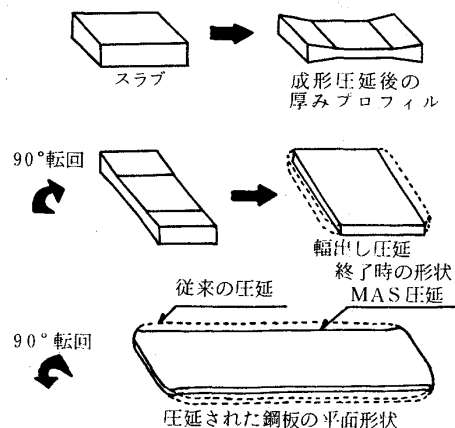


図4. M A S 圧延の原理

同様に、この長さ変化を幅出し圧延の最終パスに与えて、トップ、ボトムクロップを制御する。

3. 2 M A S 圧延制御モデル

M A S 圧延法を工程的に実施するには、圧延後の鋼板の平面形状の正確な予測が必要である。^{6), 7)} 最終鋼板の平面形状は、成形圧延、幅出し圧延および仕上げ圧延のそれぞれの過程での形状変化が複合された結果である。サイドクロップの形状変化量 $F(X)$ は(1)式で表わされる。

$$F(X) = F(\alpha \cdot x) = f_1(x) + f_3(x) + \lambda \cdot f_1(\alpha x) \quad (1)$$

ここで、 α : 仕上げ圧延における長さ方向圧延比

λ : 仕上げ圧延での補正係数

又、トップ、ボトムクロップの形状変化量 $G(Y)$ は(2)式で表わされる。

$$G(Y) = G(R_{BY}) = \alpha \frac{1}{km} \sum_{i=1}^m h_i f_2(y) + \alpha f_4(R_{BY}) + \mu \frac{1}{kn} \sum_{j=1}^n h_j f_2(R_{BY}) \quad (2)$$

ここで, R_i : 幅出し比 h_i, h_j : 出側板厚

μ : 仕上げ圧延での補正係数

成形パス回数 $i = 1 \sim m$

仕上げパス回数 $j = 1 \sim n$

$f_1(x)$: 成形圧延時のサイドクロップのツツミ形状

$f_3(x)$: 幅出し圧延時のトップ, ボトムクロップの凸形状

$\lambda \cdot f_1(\alpha \cdot x)$: 仕上げ圧延時のサイドクロップのツツミ形状

$f_2(y)$: 成形圧延時のトップ, ボトムクロップの凸形状

$V_4(y)$: 幅出し圧延時のサイドクロップのツツミ形状

$\mu \cdot f_2(R_{by})$: 仕上げ圧延時のトップ, ボトムクロップの凸形状

次に, 平面形状変化の予測量にもとづいて, 成形最終パスおよび幅出し最終パスにおける圧延方向の板厚修正量を求める。成形MAS圧延の板厚修正量 $\Delta h_t(x)$ は「体積一定則」から(3)式で与えている。

$$\Delta h_t(x) = \frac{T(x) \cdot H_B}{W_S} \quad (3)$$

ここで, H_B : 幅出し終了厚

W_S : スラブ幅

一方, 幅出し圧延の板厚修正量 $\Delta h_{cp}(y)$ は, 成形MASと同様にして, (4)式で与えている。

$$\Delta h_{cp}(y) = \frac{L_{cp}(y) \cdot h_r}{L_{AS}} \quad (4)$$

ここで, h_r : 最終板厚

L_{AS} : 幅出し圧延時の圧延幅

3. 3 MAS圧延制御システム

図5は, 厚さ, プロファイル制御システムのブロック図である。所定の厚さプロファイル $\Delta h(x), \Delta h(y)$ は, 折線 $\Delta h(x_i), \Delta h(y_i)$ で近似しミルセッアップモデルで計算される影響係数により, 圧下位置 $\Delta S(x_i), \Delta S(y_i)$ のプロファイルにそれぞれ変換される。次に圧下位置 $\Delta S(x_i), \Delta S(y_i)$ のプロファイルにそった圧下位置制御と圧延速度制御をマイクロコンピュータで実施する。

3. 4 成果

MAS圧延法は, 水島製鉄所第二厚板工場において昭和53年1月より実操業に適用され, 歩留向上に大きく寄与している。図6に, 成形MASの実施によって, サイドクロップ形状を制御した結果を示す。従来圧延法では, 幅出し比1.5を境にして傾向が異なり, 1.5以下ではツツミ形状になり, 1.5をこえるとタイコ形状になっているが, 成形MASの実施によって幅出し比に関係なく幅形状ロスほぼ0になっている。また図7に幅出しMASの実施によってトップ・ボトムクロップ形状を制御した結果を示す。パラメータとして L/C 比(長さ方向圧延比/幅方向圧延比)をとり, 平均クロップ長さの傾向を示している。幅出しMASの実施によって, 大幅に平均クロップ長さが減少することがわかる。写真1にMAS圧延を実施した鋼板の平面形状を示す。

4. 異幅圧延法¹⁾

MAS圧延法の原理を応用することによって, 幅および長さの異なる注文の組み合わせに対して異幅

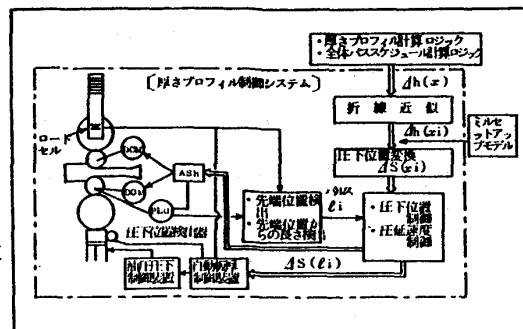


図5. 厚さプロファイル制御システムのブロック図

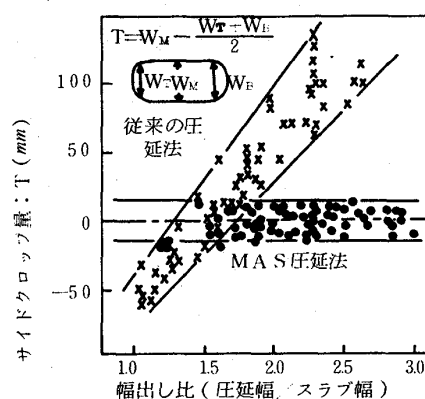


図6. 成形MASによるサイドクロップ形状の制御例

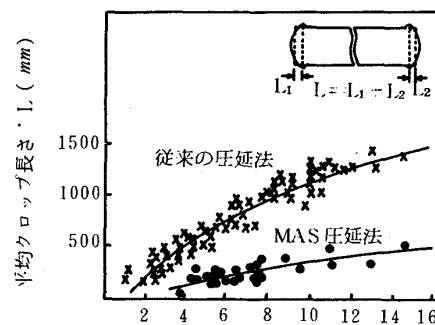


図7. 幅出しMAS圧延によるトップ・ボトムクロップ形状の制御例

圧延および異長圧延が可能である。図8に異幅圧延法の原理を示す。写真2は、異幅圧延の実施状況を示している。異幅圧延を行なう際の厚さプロフィールの変化量は、一枚の鋼板に組み合わされた注文製品の寸法から求められた異幅量 $\Delta W(X)$ と異幅制御長さ L_w によって(5)式が与えられる。

$$\Delta h_w(x) = \frac{\Delta W(X_w) \cdot H_B}{W_s} \quad (5)$$

$$X_w = 0 \sim L_w$$

ここで、 H_B : 幅出し終了厚

W_s : スラブ幅

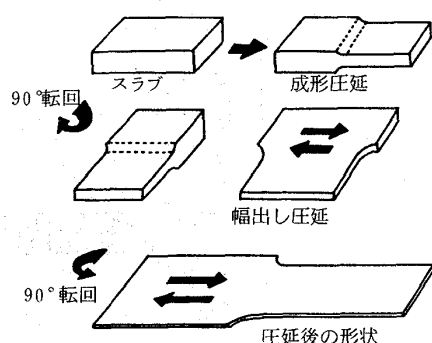


図8 異幅圧延法の原理

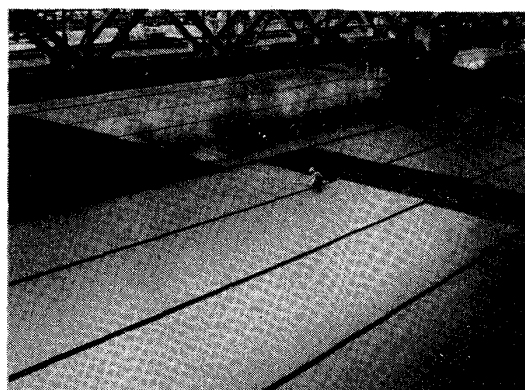


写真1. MAS圧延を実施した鋼板の平面形状

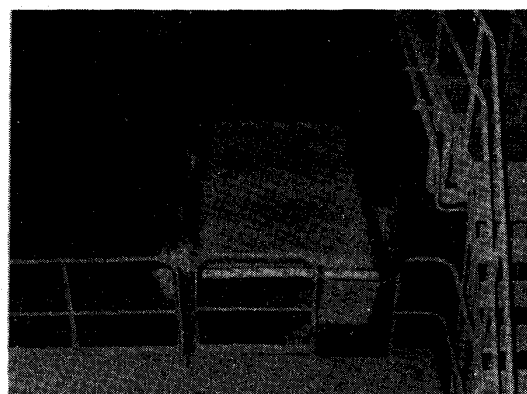


写真2. 異幅圧延の実施状態

5. 結言

厚板圧延過程での制御により、鋼板の平面形状を矩形化する新しい圧延法を開発した。これはMAS圧延法と称し、本法の実操業の適用により、4・4%の厚板歩留向上がはかられ、川崎製鉄水島第2厚板工場においては、昭和55年1月に、注文歩留94.2%の世界新記録を達成している。また、このMAS圧延法の応用技術として、異幅圧延法を開発し、歩留向上にさらに大きく寄与している。以上のように本技術は厚板圧延関係者が抱いていた長年の課題を一挙に解決したもので、従来の圧延概念を打破した圧延技術として新しい技術開発の方向を示すものといえよう。

参考文献

- (1) 壽崎：日本金属学会会報，19(1980)2，P79
- (2) 柳沢，三芳，坪田，菊川，池谷，磯山，旭，馬場：川崎製鉄技報，11(1979)2，P168
- (3) 石井，坪田，菊川，馬場，旭，尾山：鉄と鋼，65(1979)4，S306
- (4) 池谷，坪田，瀬川，磯山，菊川，旭：鉄と鋼，65(1979)4，S304
- (5) 瀬川，石井，池谷，磯山，馬場，尾山：鉄と鋼，65(1979)4，S305
- (6) 坪田，竹川，井上，磯山，旭，池谷：鉄と鋼，63(1977)11，S241
- (7) 坪田，竹川，井上，磯山，旭，池谷：鉄と鋼，64(1978)4，S279