

# 討14

## 連铸素材からの大形形鋼圧延技術について

川崎製鉄（株）水島製鉄所 柳沢忠昭 田中輝昭 ○山下政志  
奥村 寛 人見 潔 草場 隆

1. 緒言 鋼材の圧延における素材の連铸化は、分塊工程を省略することにより大きな歩留りの向上と省エネルギーをもたらす。しかし大形形鋼の圧延においては、製品形状の複雑さ、品種およびサイズ数が多いことなどにより使用する素材種類が多く、従来の圧延技術では連铸化が著しく困難であった。当社ではこれを克服すべく新圧延技術を開発し、すべての形鋼素材の連铸化を達成した。

本報では大形形鋼に連铸素材を適用する上での課題、新規開発技術の概要、とくにH700×300以上の超大形H形鋼の1ヒート圧延を可能とした新圧延法とその変形特性について報告する。

### 2. 形鋼用素材の連铸化における基本的課題

多種類の素材を必要とする大形形鋼を連铸化するには、連铸機の生産性の面より素材の統合による集約化が要請される。H形鋼の製造工程は図1に示すように、素材をブレイクダウンミル（以下BDM）において粗圧延したのち粗および仕上げユニバーサルミルにより製品に圧延する。ユニバーサル圧延ではロール寸法は製品サイズにより決定され、ウェブ、フランジはほぼ均等な圧下率で圧延されるため、BDM粗形は製品サイズに対応して設計される。従来法ではさらに素材までさかのぼって、各製品サイズ専用のビームブランクが使用されていた。

連铸化にあたり素材の集約化をはかるには、大きなメタルフローと自由な変形の可能性の高いBD圧延において、同一素材断面から多種類の製品を造り分ける新圧延法の開発が必要となる。この場合従来の概念では粗形圧延における断面内圧下率分布の不均一度がさらに増加し、先後端のクロップの増大、圧延方向の断面寸法変動の増加などによる歩留りおよび品質の低下が考えられる。したがって圧延材断面の各部分に均等な伸びを生ずるような加工法を考案することによって、従来法より高い歩留りと断面精度が得られる新粗形圧延法を開発することが重要である。

形鋼用素材としては、製品形状に近似な形状を有するビームブランクが基本的には望ましい。しかし製鉄所の品種別生産量と連铸機の基数、能力から製鉄所全体としての連铸機の最適な機能分担を決定する必要がある。したがって形鋼用素材の連铸化に対し、ビームブランク連铸がすべての製品サイズについて必ずしも最適とは限らず、従来は鋼板の素材とされていた連铸スラブも検討対象とした。

### 3. H形鋼の新粗形圧延技術

前項の考え方に立脚して当社水島製鉄所大形工場において、連铸製単一サイズビームブランクを最大限に適用する圧延技術および連铸製スラブから大形H形鋼を製造する新圧延法を開発し、H形鋼最大サイズに至る全連铸化を達成した。図2に全サイズの素材使用区分を示す。

3.1 単一サイズビームブランクからの多サイズH形鋼圧延技術 本圧延法の基本となる圧延方式を図3に示

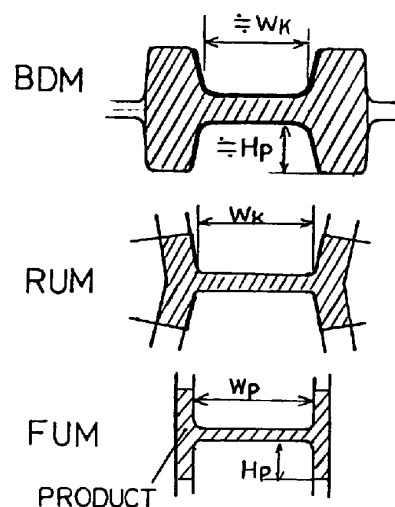


図1 H形鋼製造工程

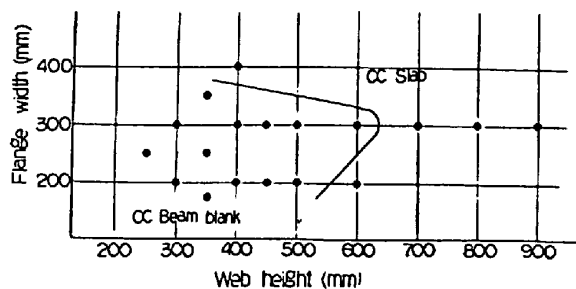


図2 H形鋼製品サイズと使用連铸素材

す。これらのうち代表的な2種類の圧延方式について紹介する。

(1) ウェブ幅広げ圧延法 従来法では素材のウェブ高さがBDMサイジングカリバー幅とほぼ同一であったのに対し、本圧延法はサイジングカリバー幅より著しく小さいウェブ高さを有する素材を用い、製品サイズに応じてウェブの幅広げ圧延を行なうものである。図4のように、ウェブ幅広げパスの接触開始条件に対し、圧延材のセンタリング可能条件を適用することが本法の要点である。この幅広げパスで、同図のようにフランジ外面にくぼみを生じ、これがシワ疵として製品まで残存する問題点が生じた。これに対しては幅広げパスでの断面変形に対するカリバー形状、パススケジュールの影響を解析することにより解決した。本圧延法はウェブ高さを拡大すると同時に、材料フランジの一部を積極的にウェブに転換することがその特長であり、主に中細幅タイプのH形鋼に適用される。

(2) フランジ幅残し(ウェブ単独)圧延法

とくにフランジ幅の大きい製品に適用する圧延方法であり、初期に材料のフランジをカリバーで拘束しない状態でウェブのみを圧延することにより、材料のフランジ断面積を維持しながらウェブ高さの増大とウェブの減面を行なうものである。図5に本圧延法を適用した際のフランジ幅変化の例を示す。

以上の圧延法の開発により、単一サイズの連铸ビームブランクから圧延可能としたH形鋼サイズは図2に示したとおりであり、ウェブ単独圧延の適用による限界は歩留りを考慮して実用上H600×300である。

3.2 スラブからの大形H形鋼圧延技術

(1) スラベッジング法

スラブをエッジング圧延すると圧下ひずみはスラブ中央部までおよばず、スラブ幅端部に集中して大きな幅広がりを生じダブルバルジ形状となる。このエッジング圧延を大幅に行なうことにより、ドッグボーン形状に成形できるとの発想のもとに、スラブから大形H形鋼を圧延する技術の開発に取り組み、これを完成させた。この圧延法を図7に示す。本圧延法の特長は図7の①、②に示すベリ-付きカリバーの考案であり、これは扁平なスラブを大幅にエッジング圧延する場合の最大の問題である圧延中のスラブの倒れを有効に防止できる。図8に平ロールとベリ-付きカリバーを用いてエッジング圧延したときの幅広がり比較を示すが、平ロールにくらべ、ベリ-付きカリバーの方が、幅広がり約10%程度大きく、また先後端非定常域長さもベリ-付きカリバーの方が短かく、より高い歩留りが得られる。ただし超大形H形鋼に本圧延法を適用する場合、所要スラブ幅

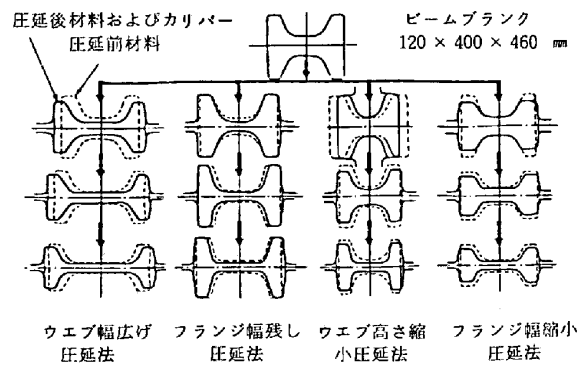


図3 単一サイズBBからの多サイズ圧延法

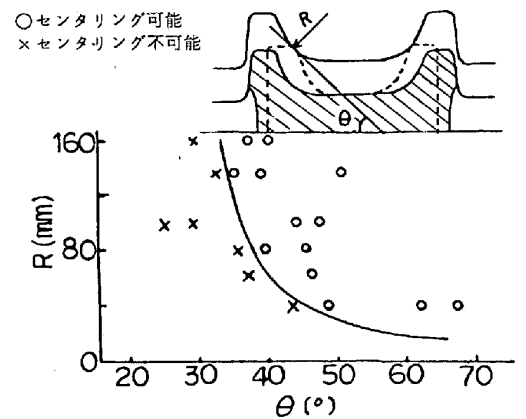


図4 センタリング可能限界

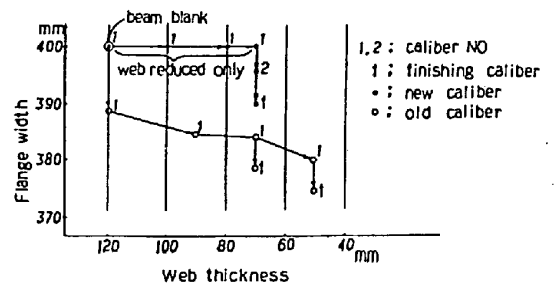


図6 ウェブ単独圧延時のフランジ幅変化

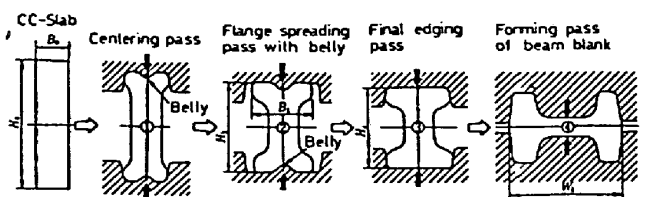


図7 スラベッジング圧延法

はBDM最大ロール開度をこえるため、分塊ミルを用いることを余儀なくされ、したがって2ヒート圧延となる。

(2) ウェブ分割圧延法による超大形H形鋼圧延

超大形H形鋼を連铸スラブから1ヒートで圧延するためには、BDM最大ロール開度以下の幅のせまいスラブを用いて所要の粗形を効率よく成形する技術が要請される。このニーズにこたえて開発されたのがウェブ分割圧延法である。図9に本圧延法における圧延材断面形状の変化を示す。本圧延法はドッグボーン成形後に同図④、⑤に示すウェブの分割圧延およびエッジング圧延を繰り返して行なうことが特長であり、とくに⑤の圧延において非圧下部を設け圧延方向の伸びを拘束してウェブ高さを拡大することにより、狭幅スラブを用いても広幅のスラブから従来法で圧延するのと同程度のエッジング圧下量を確保することができる。さらに圧延方向の伸びが小さいことは、フランジ断面積の減少を小さく抑えフランジを効率的に成形することを可能とするものである。本法の開発により、700×300以上の超大形H形鋼を1ヒート圧延することが可能となった。

以上、2つのスラブからの圧延法を適用したH形鋼サイズと使用スラブ寸法を表1に示す。

4 ウェブ単独圧延およびウェブ分割圧延時の変形特性

以上の新粗形圧延法では、とくに素材の寸法形状が従来のものと大きく異なるため極端な断面内不均等変形となる。断面内不均等圧延時に発生する伸びは軽圧下部の減面をひきおこし、ウェブが強圧下されるカリバー圧延においては軽圧下部のフランジ断面積を維持することが困難となる。したがってフランジ部を効率よく成形するためにはとくにウェブ圧延過程の伸びを抑えることが重要となる。ウェブ単独圧延法はこの要求を満たすものであり、プラスチックモデルミルを用いてウェブ単独圧延時の変形特性を調査し、実機に適用し得る精度の高い変形予測式を得た。

4.1 ウェブ単独圧延のモデル式

ドッグボーン材圧延前後のロールと材料の関係を図10に示す。

(1) メタルフロー式

$$\Delta M = \Delta M_1 + \Delta M_2 \quad (1)$$

$$\Delta M_2 = 1.29 (SF_0 / S_0)^{1.258} (\sqrt{R} (H_0 - H_1) / Br)^{-0.27} SF_0 / S_0 \times Br (H_0 - H_1) \quad (2)$$

$\Delta M_1$ :  $Br \times H_0$ の板材を $H_1$ まで圧延後のメタルフロー量

$\Delta M_2$ : 非圧下部(フランジ)による伸び拘束を受けるため生じるメタルフロー量および圧延前後変形によるメタルフロー量の和

(2) 伸び予測式  $\lambda = H_0 Br / (\Delta M + H_1 Br) \quad (3)$

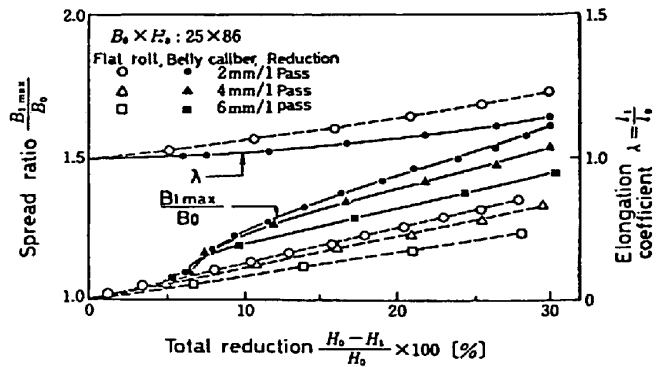


図8 スラブエッジング時の幅広がり

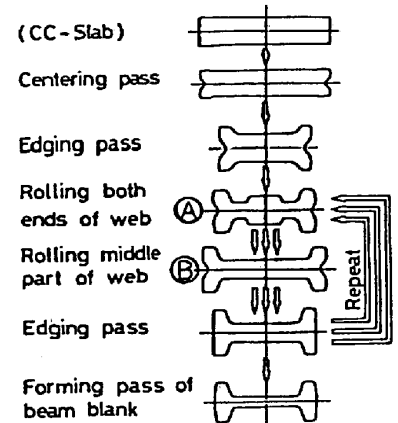


図9 ウェブ分割圧延法

表1. 製品サイズとスラブ寸法

	製品サイズ	スラブ寸法 mm
スラブエッジング法	400×400	250×1100
	600×200	
ウェブ分割圧延法	700×300	250×1225
	800×300	215×1450
	900×300	

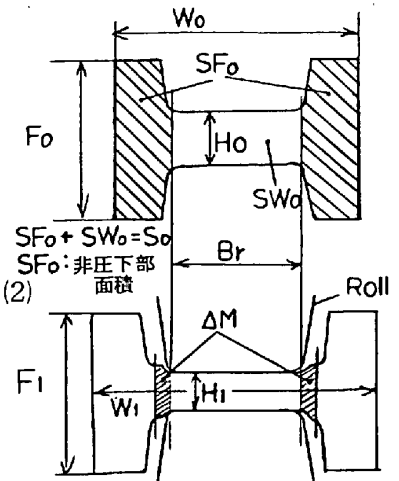


図10 ウェブ単独圧延モデル

(3) ウェブ高さ予測式

$$W_1 = Br + (W_0 - Br) / \sqrt{\lambda} + 2.18 \times \Delta M (H_0 / \sqrt{\lambda} + H_1) \quad (4)$$

$$(4) \text{ フランジ幅予測式 } F_1 = F_0 / (1 + 0.73(\sqrt{\lambda} - 1)) \quad (5)$$

以上の式からウェブ高さの大きなサイズほど伸びが大きくなる  
ことが定量的に把握できた。

4.2 ウェブ分割法への適用

ウェブ高さの大きなサイズでは、ウェブの面積比率が大きくなるため、ウェブ単独圧延を行なっても伸びが大きくなり、これを抑制するには(1)式の $\Delta M$ を大きくする必要がある。ウェブ単独圧延では $\Delta M_1 \ll \Delta M_2$ であり(2)式の非圧下部面積比 ( $S_{F0} / S_0$ )を大きくすればよく、Brを小さくすることが有効となる。したがってウェブ内幅が大きいサイズに対して直接圧下幅Brが小さいロールを用い、ウェブを分割して圧延すればウェブ減面時の伸びを小さくし、フランジ断面積の減少を抑えつつ有効なフランジ成形圧延が可能となる。この考え方に立脚したのがウェブ分割圧延法である。本圧延法の実用化に先だち使用するスラブ寸法およびカリバーBr寸法をモデル式を用いて検討した。図11にフランジ幅に対するBr寸法の影響を、図12に各スラブ寸法、Br寸法での最終フランジ断面積の計算例を示す。フランジ断面積を十分に確保するには、たとえば、Brを470mmに固定した場合は1400×260のスラブが適当であることがわかる。このモデル式を実機に応用することにより最適圧延条件の決定が可能となった。

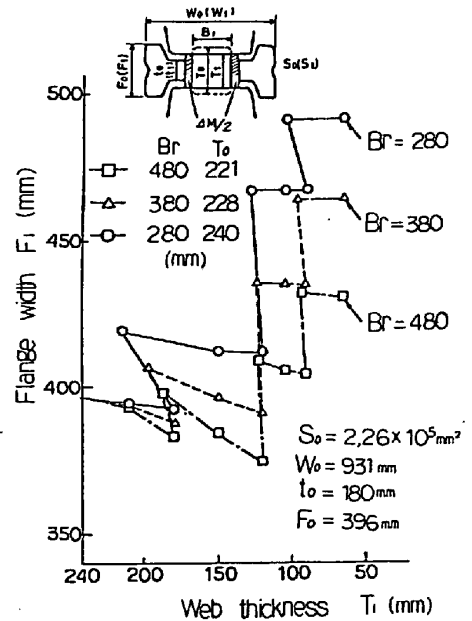


図11 ウェブ分割圧延におけるフランジ幅に対するBrの影響

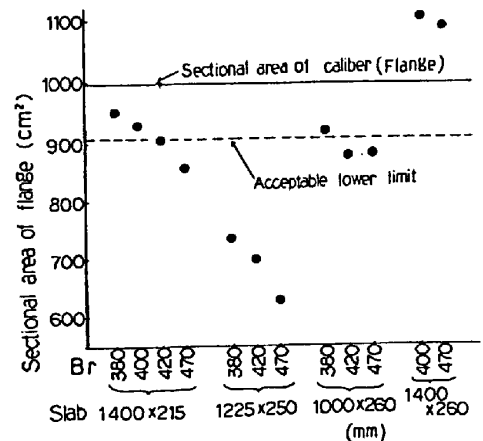


図12 最終フランジ断面積計算例 (H900×300を対象)

5. 鋼矢板素材の連鋳化

すべてのU形鋼矢板について連鋳ブルームからの1ヒート圧延を確立し、Z形、F形鋼矢板については連鋳製ビームブランクまたはブルームから2ヒートで圧延する工程を確立した。表2に各鋼矢板の使用素材を示す。

6. 結言 大形形鋼用素材をすべて連鋳化することにより以下の多大の成果が得られ、コストダウンに大きく寄与できた。

(1)歩留向上 本圧延法そのものがクロップロスが少いこと、素材重量精度の向上等により粗鋼対製品の通算歩留りは平均約10%向上した。さらに素材起因不良の解消等により余剰発生率は7%から2%に減少し注文1級品採取率の向上に大きく寄与した。

(2)省エネルギー 連鋳製素材からの1ヒート圧延適用サイズでは分塊工程の省略により製品トン当たり約150×10<sup>3</sup>kcalの省エネルギーを達成した。

(3)素材の統合、集約化による素材工程の合理化

今後の課題としては、圧延技術の改善によるクロップロスの最小化、ホットチャージ量および質の向上などがあげられる。

(参考文献) 1)柳沢ら：鉄と鋼，66(1980)4.S274

2)田中ら：鉄と鋼，66(1981)4.S286

表2 鋼矢板用連鋳製素材

形式記号	圧延方式	素材種類	素材寸法mm
U3 ~U4A	1ヒート	連鋳 ブルーム	240×400 または 300×400
U5L, 6L			400×560
F, FA Z25	2ヒート	連鋳ビーム ブランク	120×400 ×460
Z32 ~Z45			連鋳 ブルーム