

技術報告

UDC 621.771.23.016.2 : 669.012.5

ホットストリップミルにおけるクロップロス低減法

三宅 祐史*・浜田 圭一*・植木 茂*
直井 孝之*・侍留 誠*

Technique to Decrease Crop Loss in Hot Strip Mill

Yushi MIYAKE, Keiichi HAMADA, Shigeru UEKI,
Takayuki NAOI, and Makoto SHITOMI

Synopsis:

Techniques to decrease crop loss in hot strip mill become important under introducing high width reduction process, which makes better relation between continuous casting plant and hot strip mill.

By plasticine medel rolling experiment, it is observed how the crop grows under the rolling condition at roughing train in hot strip mill. Forming top end and bottom end of slab into a certain shape before rolling is effective to decrease crop growth at both ends of slab. The reasons of that effect are,

- (1) to lower the width reduction by edging rolling at slab end,
- (2) to cancel the crop growth after edging rolling.

Results of experiment with plasticine on pre-forming by parallel edging press machine have shown that it is necessary to determine the optimum pre-forming condition (the width reduction and the contact length between slab and press) according to the total width reduction. One method to control the crop length is explained.

It has been confirmed by actual mill test at Mizushima hot strip mill that pre-forming by edging press is effective in hot rolling of steel and control of the crop length is possible.

1. 緒 言

近年連続鋳造 (CC) 材の省エネルギー、省資源での造塊-分塊材に対する優位性より、CC 材の生産比率が増加してきている。しかし製鋼工程と圧延工程の間はレイアウト的にも生産管理システムの的にも従来主流であった造塊-分塊-圧延工程を基本として考えられているため、CC 材比率の向上とともに CC 工程と圧延工程間のプロセス研究が盛んになってきた。圧延工場の中でもホットストリップミル (以下ホットと略称) は最大の生産能力を有する工場であり、CC-圧延工程では CC-ホット間の工程が全製鉄所で見たと同様な比率を占めている。

CC-ホット間のプロセス問題の 1 つに CC スラブ幅とホットストリップコイル幅の問題がある。ホットストリップコイル幅に対応するスラブ幅を統合し、CC 能力を増大させ CC スラブ比率を向上させることを意図し、

- (1) 大幅圧下 カリバー・ロールによる大幅圧下¹⁾、
幅圧下プレスによる大幅圧下²⁾

- (2) 幅広げ圧延 キャメル・クラウン・ロールによる幅広げ圧延³⁾

(3) スラブ幅オンライン切断 幅狭スラブ複数分を CC にて広幅鋳込み後オンライン幅切断^{4)~7)}等の種々のプロセス開発が行われているが、大幅圧下プロセスが現在では主流と考えられているようである。

現在のホットにおいても VSB やエッジの垂直ロールにより最大 100 mm 程度の幅圧下を行つているが、ホットでの幅圧下はクロップによる歩留り低下を招くと考えられている。そこで将来の大幅圧下プロセスの適用に対して、このクロップ損失をどのように抑制して大幅圧下プロセスへ移行するかの研究も同時に行われている。その抑制法として中延ばし圧延法⁸⁾⁹⁾、スラブ先後端の予成形法^{10)~15)}、押し込み力付加法¹⁶⁾が報告されている。

本報ではスラブ先後端の予成形法によるクロップ低減方法についての検討結果を報告する。

昭和 55 年 4 月本会講演大会 昭和 55 年 5 月塑性加工春季講演会にて発表 昭和 56 年 4 月 20 日受付 (Received Apr. 20, 1981)

* 川崎製鉄 (株) 水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Mizushimakawasakidori Kurashiki 712)

2. ホットストリップミルでの クロップ生成

2.1 実機におけるクロップ

ホットでは粗圧延にて数パスの垂直、水平圧延（以下それぞれV、H圧延という）が行われる。この時スラブの先後端に生成する異常形状部は仕上げ圧延の直前で切り落とされる。これがクロップ損失で、ホットの歩留り低下の一要因となっている。Table 1に示すように歩留り低下要因のうち最大のものはスケール生成による歩留り低下であり、次いで大きいものがクロップ損失となっている。

このクロップ損失は Fig. 1 のようにスラブ・サイズ、粗圧延条件、特に幅圧下量に大きく依存する。前述のスラブ幅統合の問題に対してはホットでの大幅圧下が主流であり、粗圧延での幅圧下量が増大するので、クロップ損失の増大が懸念される。

Fig. 1 には先端部、後端部でのクロップ損失の内訳をも示しているが、この図より以下のことがわかる。

- (1) 後端部クロップ損失の方が大である。
- (2) 幅圧下量の増加とともに先端部クロップ損失は飽和傾向が認められるが、後端部では比例的に増大する。また現実の圧延作業では、クロップ形状は幅出し圧延

Table 1. Yield loss at hot strip mill. (%)

Scale loss	Crop loss	Miss roll	Scrap	Total
0.86	0.28	0.06	0.06	1.26

(第33回ホットストリップ分科会資料による)

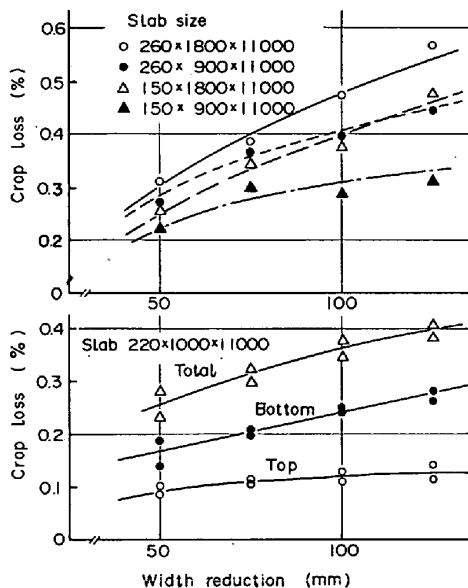


Fig. 1. Relationship between crop loss and width reduction in hot strip mill.

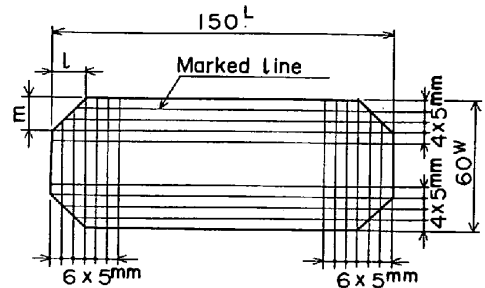


Fig. 2. Plasticine material in model rolling experiment.

Table 2. Pass schedule in plasticine model experiment. (mm)

Pass No.	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Vertical roll gap	52	48	—	48	—	48	—
Horizontal roll gap	—	—	15.0	—	11.5	—	7.0

の時にはタング（以下凸）となるのに対し、幅圧下圧延の時にはフィッシュ・テール（以下凹）となり、しかも幅圧下量が多いほど凹量が増大することが知られている。

2.2 プラスチン実験によるクロップ生成過程の観察

2.2.1 実験方法

実験装置はVロール径 80 mm φ、Hロール径 80 mm φのモデル・ミルで、ロールはいずれもフラット・ロール、また実機に対する縮尺は約 1/15 である。圧延材は白色プラスチン（厚み 20 mm）を用い、その寸法は Fig. 2 の $l=m=0$ で、パスごとのクロップ生成過程を観察するために格子線をプリントした。圧延スケジュールは実機スラブを 125 mm 幅圧下する場合のスケジュールである。(Table 2) 潤滑剤は炭酸カルシウム粉末を試材表面に塗布し、実験は室温 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) にて行つた。また各パス後に圧延材を写真撮影して、各パスごとの格子線の変化を測定し、クロップ生成過程を観察した。

2.2.2 実験結果および考察

Photo. 1 に矩形の素材と、7 パス圧延後の先・後端部の写真を示す。同写真の格子線模様から、圧延材は長手方向端部において大きなせん断変形を受けていることがわかる。しかし長手方向中央部では、幅方向端部を除いてはせん断変形は小さくなり、H圧延による長手方向の変形が主体となっている。

次にクロップ生成過程を調査するため、長手方向端面上の格子点の各パス後の相対位置を表したのが Fig. 3 である。基準点は幅中央、端面から 5 点目の格子点（素材換算端面より 20 mm）とした。

Fig. 3 および各パス後の格子模様から、#1、#2 パスのV圧延では、長手方向中央部では、ロールと圧延材の

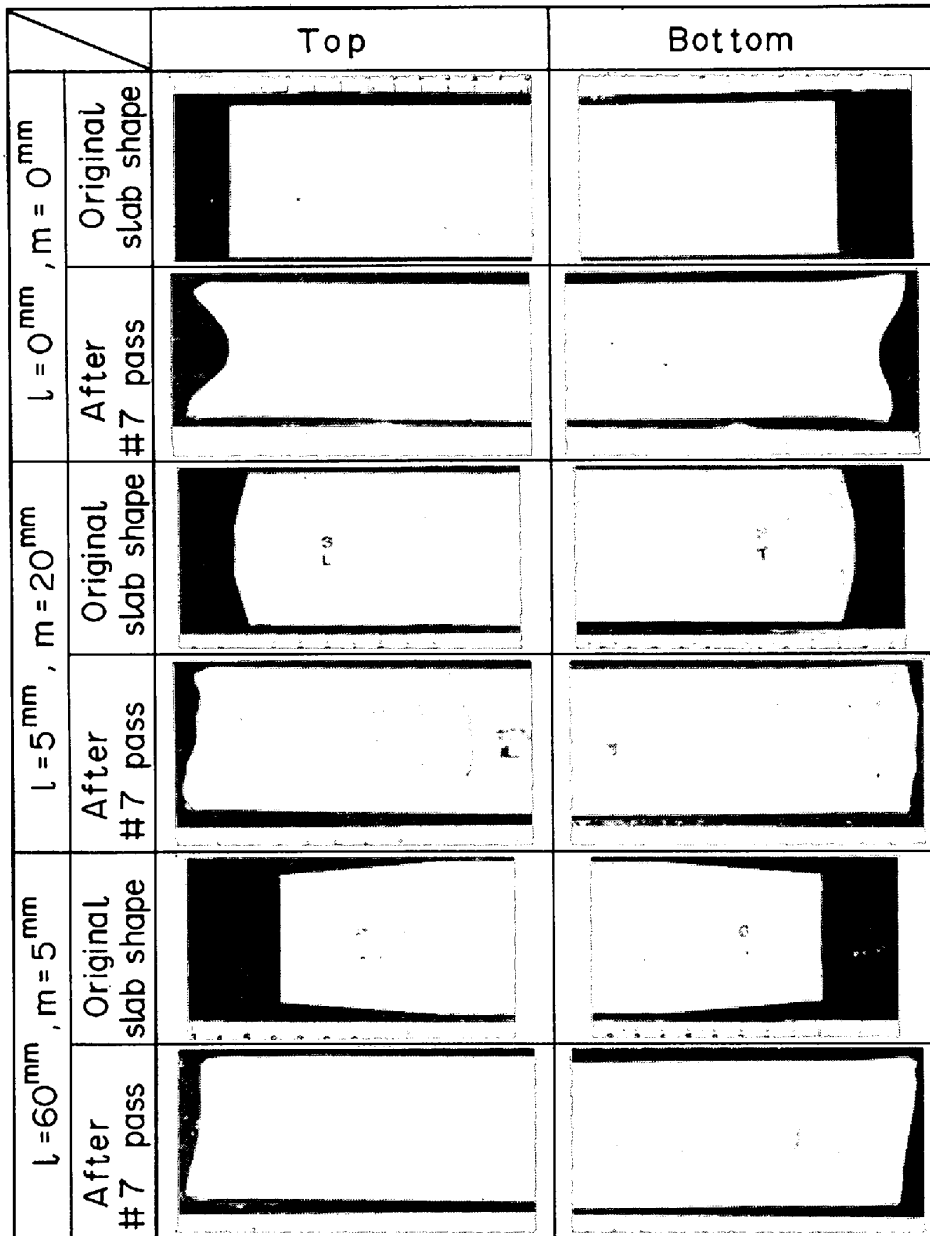


Photo. 1. Shapes of top end and bottom end, before and after rolling (rectangular material and pre-formed material).

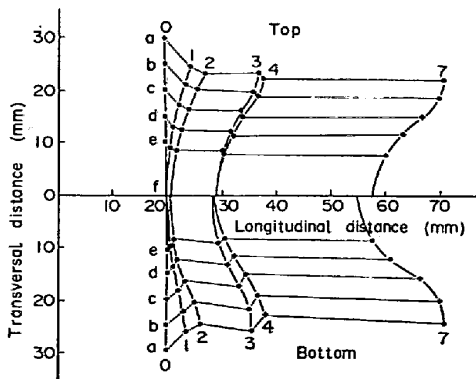


Fig. 3. Relative position of top end and bottom end after each passes.

接触長が板幅に比して短いために起こる幅端部のみの変形は主に板厚方向（ドッグ・ボーン変形）へ生ずるため長手方向の材料流動はほとんど起こらない。それに対して先後端部においては、板厚方向よりも長手方向の自由表面に向かってせん断変形が生ずるため、クロップ（フィッシュ・テール）が生成されると推察される。

Fig. 3 に見られるように、先後端とも #2 パスまでの V 圧延でクロップの大部分が生成され、#3~7 パスの圧延でそのクロップが H 圧延により成長したように思われる。しかし #3~7 パスで全くクロップ生成がないわけではなく、たとえば #4 パスの V 圧延でわずかのクロップ生成が見られるが、幅圧下量が小さく、板厚が薄く

なるためクロープ生成量が小さいことと、H圧延でのキャンセルがあるため、あたかも最初の幅圧下のみでクロープが生成されたかのようになったものと考えられる。

このクロープ生成過程の観察よりクロープ生成抑制のためには次の2つの方法が有効であることが示唆される。

(1) V圧延による先後端部でのせん断変形を考慮した素材形状としておく。

(2) V圧延によつて先後端部でのせん断変形が起こらないようにする。たとえば幅圧下時に材料流動が長手方向に向かう範囲の材料先後端部での幅圧下を中止する。

2.3 クロープ生成抑制法のモデル実験での確認

上記2つのクロープ生成抑制法の効果を確認するため、Fig. 2 に示すような4角をカットした素材を2.2と同一条件で圧延した。4角とも同一寸法でカットし、カット寸法 l, m は Photo. 1 に示す。

Photo. 1 に各実験材の素材と #7 パス後の先後端の形状を示す。#7 パス後の先後端写真より、 $l=5, m=20$ の素材ではせん断変形による材料流動が初期カット部に流入しており、また $l=60, m=5$ の素材では端部でのせん断変形がほとんどなく幅端部での長手方向への材料流動がほとんど起こっていない。このようにいずれの場合も先後端部のクロープ生成量は非常に小さくなつており、両方法がともに有効であることが確認できる。

切断加工を実機ミルにて行うことは歩留り低下を避け得ないため、プレスによる成形を採用するものとして以下の検討を行つた。成形形状は Fig. 4 に示す平行プレスによる成形（以後J形プレス予成形という）とした。

3. J形プレス予成形によるクロープ制御法

ここではJ形プレス予成形を採用した場合のクロープ制御法について、プラスチック・モデル実験による検討結果を述べる。以後の検討ではクロープ量としてクロープ長さをを用い、凸形を正、凹形を負とする。前述したように、大幅圧下終了パスでのクロープ量でシートバーでのクロープ量もほぼ決定されると考えられるので、Table 2 の #2 パス終了時のクロープ量を検討の対象とする。

3.1 実験方法

圧延材は白色プラスチック、素材寸法は 15 mm \times 60 mmw, 20 mm \times 60 mmw, 15 mm \times 100 mmw の3種類（縮尺約 1/15）で、幅圧下量は最大 15 mm（2パス合計）とした。また予成形プレスの金敷形状は Fig. 4 に示すもので、プレス成形長 l 、プレス成形量 m の定義も図示している。その他の実験条件は2と同様である。

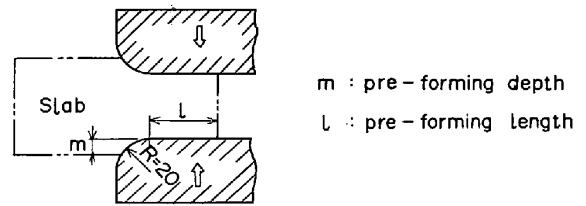


Fig. 4. Illustration of J-type press pre-forming in plasticine model rolling experiment.

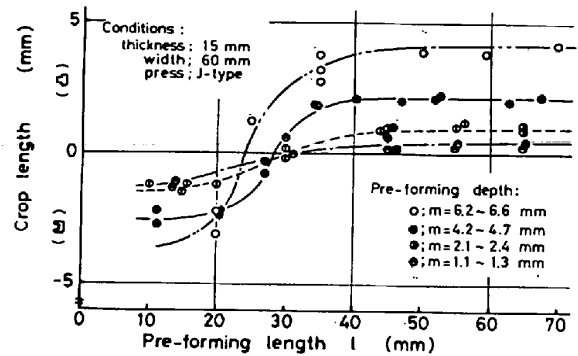


Fig. 5. Effect of pre-forming depth and length on crop length after J-type press pre-forming.

3.2 J形プレス予成形によるクロープ量

J形プレス予成形後のクロープ量を Fig. 5 に示す。成形量 m を一定とすれば、成形長 l の変化とともにクロープ形状が変化し、成形長 l が板幅の約 1/2 (30 mm) を境として、 $l < 30$ mm では凹、 $l > 30$ mm では凸となる。これは成形長 l により、プレス成形時の材料流動が異なるためと考えられる。V圧延は接触弧長が板幅に比して短いため、Fig. 5 の l が小さい領域に対応し、幅圧下量（成形量 m ）が大となれば、大きな凹クロープを生成する。

この図より成形長と成形量により、プレス予成形後のクロープ量を調整可能なことがわかる。またこの結果は鉛を用いたプレス成形実験²⁾の結果とも定性的にはよく一致している。

実機へ適用する場合には、安定したクロープ量を生成するプレス条件が好ましいので、Fig. 5 の場合には成形長 $l > 40$ mm が適当であると考えられる。この領域では主に凸クロープとなり、その量は成形量 m にほぼ比例する。

3.3 V圧延によるクロープ量

#1パスのみ、および #2パス後の先端部、後端部クロープ量と幅圧下量の関係を Fig. 6 に示す。先端部、後端部ともに、#1パスのみの場合と #1 および #2パス後のクロープ量はほぼ同一曲線上にある。これは幅圧下量が同じであれば、1パス圧延でも、2パス圧延でも同程度のクロープ量となることを意味している。クロープ

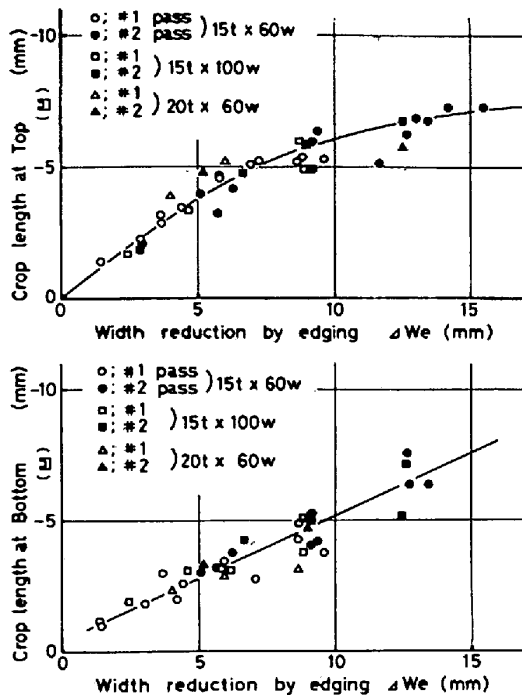


Fig. 6. Relation between crop length at top end and bottom end of slab and width reduction by roll edging.

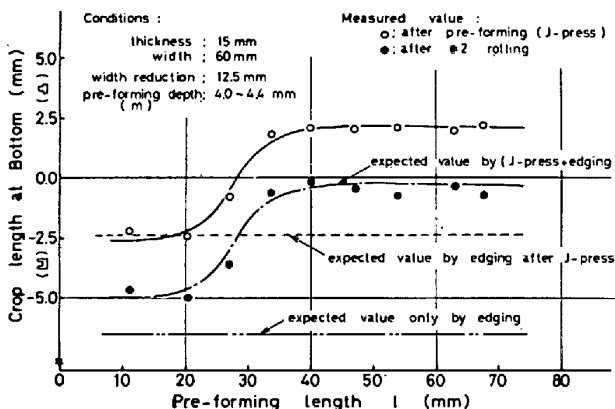


Fig. 7. Change of crop length at bottom end with #1 and #2 passes after pre-forming.

形状は両端部とも幅圧下量の増加にともない凹量が増加する。また幅圧下量の増大に対して先端クロップは飽和傾向を示すが、後端クロップは比例的に増大しており、定性的には Fig. 1 の実機でのクロップ生成と一致する。

3.4 [予成形+V圧延]後のクロップ量

Fig. 7 にJ形プレス予成形後のクロップ量(白丸, 実線)と, その後さらにV圧延を行った後のクロップ量(黒丸)を示す。予成形量 $m=4.2$ mm 一定とし, 成形長 l を変化させ予成形した後, 長手方向中央部で 12.5mm, 先後端部では $12.5-2 \times 4.2=4$ mm のV圧延を行った。一方 Fig. 6 より 4mm 幅圧下によるクロップ量(破線)

は約 -2.5 mm であり, 実線をこの量だけ凹側へ移動したものが二点鎖線である。すなわち, 予成形後のクロップ量はV圧延後にはすべて約 2.5 mm 凹側へ変化し, しかもその量は無成形スラブの 4mm のV圧延により生成するクロップ量にほぼ一致している。

以上のことより, J形プレス予成形後にV圧延を行った後のクロップ量は, J形プレス予成形, V圧延をそれぞれ単独で行った場合に生成するクロップ量の単純な重ね合わせにより推測できることがわかる。

3.5 最適予成形条件の決定方法

J形プレス予成形後の 端部形状 に影響する 因子として,

- (1) 予成形量 m
- (2) 予成形量 l
- (3) 予成形装置の金数形状 (Fig. 4 の R 20 の部分) がある。これらのうち (3) については今回検討を行っていないが, 特に成形長 l が短い時には端部形状に影響すると考えられる¹⁵⁾。ここでは上記 (3) 項の形状を固定し, (1), (2) 項の予成形因子によるクロップ制御を考える。その方法として次の 2種類が考えられる。

[方法A]: 予成形後のクロップ形状が安定して凸形となる成形長域 (幅 60mm 材の場合 $l > 40$ mm) を用い, 端部の予成形量 m とV圧延での幅圧下量との配分を調整することにより, 目標のクロップ量を生成させる。

[方法B]: 予成形量 m を必要な幅圧下量に対応させて決定し, 成形長 l を調整することにより, 目標のクロップ量を生成させる。

Fig. 7, Fig. 8 に示すように, 上記 2つの方法のいずれにもクロップ量の制御が可能である。ただし方法Bでは Fig. 5 に示すように, 成形長 l のわずかな変化でクロップ量が大きく変化する領域 (この場合 $l=30$ mm) が存

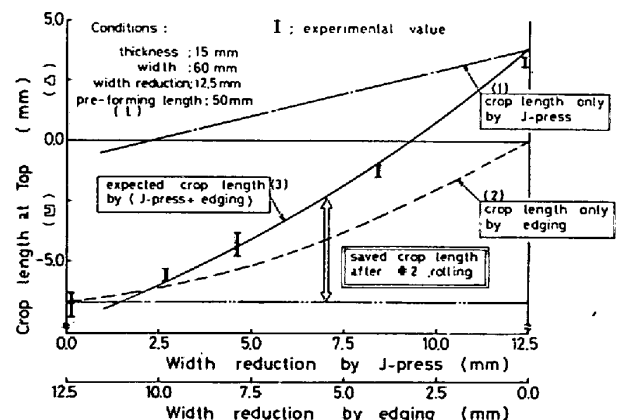


Fig. 8. Choice of pre-forming depth for aimed crop length after #2 pass.

在するため成形長 l の制御に難点があると考えられる。

Fig. 8 は方法 A について目標クロップ量を得るために必要な予成形量 m の決定方法を示すものである。プレス予成形によるクロップ量の曲線 (1) と、V 圧延のみによるクロップ量の曲線 (2) を重ね合わせると、曲線 (3) が得られる。そこで [予成形+V 圧延] 後の目標クロップ量を与えて、それに対応する曲線 (3) の横座標より、予成形量 $2m$ と V 圧延の幅圧下量の配分方法が決定する。Fig. 8 には実験結果もあわせて示しているが、クロップ量はほぼ予測値に一致していることがわかる。また方法 A の J 形プレス予成形法を適用することにより、無成形に比して矢印で示すクロップ量の削減が可能である。

4. 実機での実験結果

すでに報告したように、先後端予成形法としてプレス以外のスラブ切断法、ロールによる成形法にてもクロップ生成の抑制効果のあることが実機にて確認されている¹⁰⁾。ここでは J 形プレスによる予成形法の予成形量変化と、クロップ量変化の関係を実機にて確認した結果を述べる。

4.1 実験方法

実験材はスラブ寸法 $220\text{mm}t \times 1050\text{mm}w \times 6000\text{mm}l$ の普通鋼 SS41 を用い、全幅圧下量 120mm とした。予成形は水島製鉄所 6000t プレスを用い、 1200°C にスラブ加熱後成形長 $l=600\text{mm}$ 、成形量 $2m=30, 75, 150\text{mm}$ の 3 水準にて J 形プレス予成形を行い、予成形後のスラブ寸法を測定した。圧延は水島製鉄所ホット・ストリップ・ミルにて 1200°C にスラブ再加熱後粗圧延を行った。比較材として無成形矩形スラブも同時に圧延した。ミルヤードのクレーン上よりディレイ・テーブルでのシート・バーのクロップ形状を写真撮影するとともに、クロップ・シャにより切断後のクロップ長を測定し

た。

4.2 実験結果および考察

Fig. 9 に予成形後のスラブでのクロップ量を示すが、成形長 $l=600\text{mm}$ ではいずれも凸クロップとなり、プラスチック実験での Fig. 5 とよく一致した傾向となっている。

Photo. 2 に粗圧延後の先後端部シート・バー・クロップの写真を示す。また Fig. 10 にクロップ長と、先後端部での予成形量と圧延での幅圧下量の配分量との関係を示す。これらの写真、図より J 形プレス予成形によるクロップ制御が十分可能であり、幅圧下量に対して適切

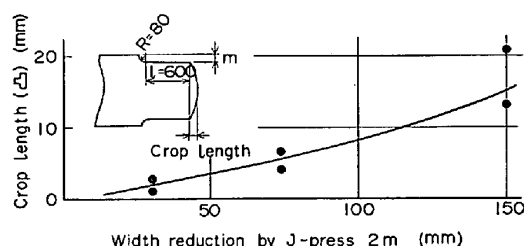


Fig. 9. Crop length after J-type press pre-forming (actual mill test).

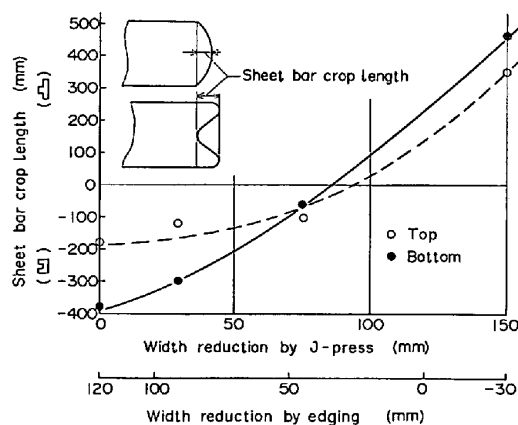


Fig. 10. Relationship between sheet bar crop length and width reduction by J-type press pre-forming and roll edging (actual mill test).

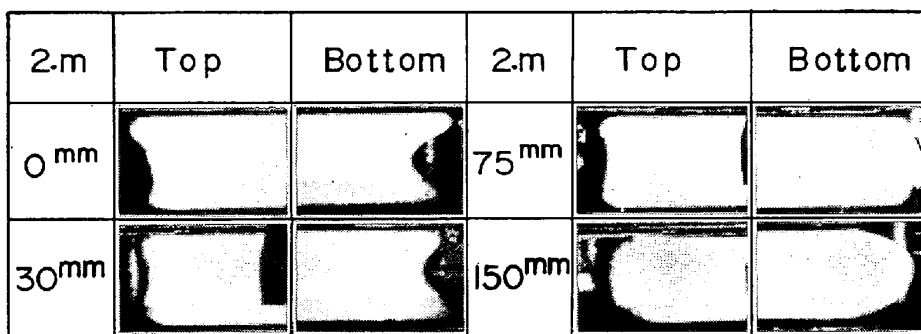


Photo. 2. Effect of J-type press pre-forming at sheet bar crop length (actual mill test).

なプレス予成形条件を選択することは有効なクロップ制御方法であることがわかる。またこの結果はプラスチックを用いた実験結果 Fig. 8 と定性的によく一致している。

Fig. 1 に示したように実機でのクロップ生成はスラブ寸法により異なるが、定性的には種々のスラブ寸法に対してJ形プレス予成形法は有効と考えられる。しかし定量的にプレス予成形量を決定するためには、種々のスラブ寸法での実機実験が必要であると考えられる。

5. 結 言

プラスチックを用いたモデル実験により

(1) ホットでの幅圧下圧延時のクロップ生成過程を観察し、

(2) クロップ生成を抑制するためにはスラブ先後端部での予成形が有効であることを明らかとし、

(3) スラブ端部予成形法としてJ形プレス予成形法を適用した場合について、任意のクロップ量を得るためには、圧延条件特に幅圧下量に対応して予成形形状を制御する必要があることを示した。

さらに実機実験にてJ形プレス予成形法の有効性を確認した。

これらの結果より、J形プレス予成形法を適用することにより、幅圧下量の増大によるクロップ損失の増大を十分抑制可能であるといえよう。さらに単なるクロップ生成の抑制のみならず、クロップ量の制御が可能であるので、最適なクロップ量に制御することにより、クロップシャによるクロップ切断を省略したクロップレス圧延への展望が開かれたものと考えられる。

今後 CC-ホット工程間の最適化システムを検討する中で、ホットでの大幅圧下技術とJ形プレス予成形法の

実現を推進したいと考えている。

文 献

- 1) 渡辺和夫, 時田秀紀, 中島浩衛: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 213
- 2) 中川吉左衛門, 金成昌平, 片岡健二, 佐々木徹, 宮田克彦, 斎藤吉弘, 小西敏弘, 植木 茂: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 295
- 3) 岡戸 克, 有泉 孝, 中内一郎: 昭和 55 年度塑性加工春季講演会講演論文集, (1980), p. 37
- 4) 鈴木康夫, 長田修次, 安田一美, 甲谷知勝, 平川紀夫, 儀間真一: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 986
- 5) 甲谷知勝, 平川紀夫, 儀間真一, 鈴木康夫, 長田修次, 安田一美: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 987
- 6) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 67 回圧延理論部会 (1980), 日本鋼管(株)(私信)
- 7) 金成昌平, 阿部英夫, 片岡健二, 中川吉左衛門, 石原 甫, 嬉野卓治, 三宅祐史, 佐々木徹: 鉄と鋼, 67 (1981) 4, S 284
- 8) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 64 回圧延理論部会 (1979) 石川島播磨重工業(株)(私信)
- 9) 田添信広: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 18
- 10) 三宅祐史, 浜田圭一, 藤原煌三, 植木 茂, 直井孝之, 侍留 誠: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 293
- 11) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 65 回圧延理論部会 (1980) 石川島播磨重工業(株)(私信)
- 12) 樽井正昭, 関 剛, 田添信広: 昭和 55 年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1980), p. 41
- 13) 侍留 誠, 直井孝之, 西出輝幸, 浜田圭一, 植木茂, 三宅祐史: 昭和 55 年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1980), p. 45
- 14) 時田秀紀, 渡辺和夫, 中島浩衛, 菊間敏夫: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 970
- 15) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 67 回圧延理論部会 (1980) (株)日立製作所(私信)
- 16) 長田修次, 岳藤敏夫, 河原田実, 中島浩衛, 神山藤雅: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 292