

技術報告

UDC 621.771.23 : 669.012.5.531.717.8

エッジヤ圧延による厚板の歩留り向上

西崎 允*・小久保一郎*²・早川 初男*

川谷 洋司*・福田 正彦*・吉間 豊*

Improvement of the Yield by Edging Method in Plate Rolling

Makoto NISHIZAKI, Ichiro KOKUBO, Hatsuo HAYAKAWA,
Hiroshi KAWATANI, Masahiko FUKUDA, and Yutaka YOSHIMA

Synopsis:

It is important to improve the plane view patterns of plates, in order to increase the yield of steel plates. For this purpose, edging method is examined by a laboratory test using lead plates, so that optimum edging condition is established, and the results are applied to actual plate rolling.

The results are as follows:

- (1) By the edging method, plane view patterns are improved with the yield increase of about 2%.
- (2) The edging method is more effective when both top-bottom edging and side edging are carried out.
- (3) The edging method is also effective to diminish the side overlap of heavy plates.

1. 緒 言

厚板圧延において鋼板の長さ方向先後端部および幅方向端部が圧延時に不均一な塑性変形挙動を示すために形状は矩形とはならず、形状不良部が発生する。また、板厚が大きい場合には板厚断面において折れ込みが生じる。これら形状不良部は厚板製品の歩留りを左右する重要な因子であり、これらの改善のための圧延技術の開発は厚板製造における重要な課題である。

厚板圧延は通常 1) 成形圧延, 2) 幅出し圧延, 3) 仕上げ圧延の 3 過程に分かれ、圧延材は板幅比 (板幅/板厚) の比較的小さい成形圧延および幅出し圧延過程において顕著な幅広がりを生じる。この幅広がり現象は圧延材の長さ方向中央部と先後端部とでは挙動が異なり、特に先後端部で局所的な幅広がりが発生する。このように幅広がりの不均一により圧延材の平面形状は矩形からはずれ、先後端部では舌状あるいはフィッシュテール状を呈し、幅方向ではつづみ状あるいはたいこ状となる。

さらに、板厚が 50 mm をこえるような厚物鋼板の場合には、圧延時における板厚表層部と内部の伸び差に起因する折れ込みが先後端部および幅方向端部に発生する。

これら形状不良部はいわゆるクロップロスとなり厚板製品の歩留りを低下させる大きな要因となつてきた。そこで、近年、寸法の正確な連铸スラブの使用比率の増加とあいまつて平面形状の制御に関する技術開発が盛んになり、厚板の歩留り向上に大きな成果を上げつつある。

厚板の平面形状に関する制御方法としては、圧延中の鋼板の平面形状変化を予測し、その変化に応じてスラブ形状を圧延途中パスで変化させる圧延技術が開発され、矩形度の向上に効果を上げている¹⁾。

一方、圧延時の局所的な幅広がりによつて生じる形状不良部を直接制御し、鋼板の矩形化をはかるとともに折れ込みを減少させる方法としてエッジヤ圧延が有効であることが従来から知られている。最近では圧延材のエッジング前の幅変動量に応じてエッジング量を制御することにより矩形度を改善しようとする試みもなされている²⁾。しかし、圧延による鋼板の平面形状変化は長さ方向および幅方向の端部における局所的な 3 次元変形に起因しており、これはスラブ寸法、製品寸法などの寸法条件および圧延条件によつて異なる。従つて、最適エッジング条件はスラブ構成、設備仕様の異なる個々の圧延ラインの特性に応じて確立する必要がある。

昭和 56 年 3 月 16 日受付 (Received Mar. 16, 1981)

* (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., 1 Kanazawa-cho Kakogawa 675-01)

*² (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 工博 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

著者らは実機の 1/10 スケールで鉛板を用いて圧延モデル実験を行い、エッジ圧延およびそれに続く水平圧延による平面形状の変化過程について調査を行った。本モデル実験から得られた結果を実機に適用し、エッジ圧延法により大きな歩留り効果を得たので報告する。また、折れ込みに対するエッジ圧延の効果についても実機で確認した。

2. モデル圧延実験

2.1 実験方法

供試材として厚さ 12 mm, 幅 100 mm, 長さ 200 mm の硬質鉛板を使用した。圧延にはワークロール径 100 mm の 4 段圧延機とロール径 100 mm の堅型圧延機を用いた。エッジングのタイミングは Fig. 1 に示すように実操業工程の代表例を考慮して決定した。エッジングは成形圧延後スラブを 90° 回転し、長さ方向を圧下するもの (以下 T-B エッジングと称する) と幅出し圧延後スラブを再度 90° 回転し、幅方向を圧下するもの (以下サイドエッジングと称する) に分けて実施した。幅出し比は 1.5, 2.1, 2.6 の 3 種類とし、水平圧下率は 1 パス当たり 10% 一定で最終 0.96 mm まで圧延した。なお、エッジング量は座屈を考慮して最大 4 mm とした。クランプ量については Fig. 2 に示す方法により決定

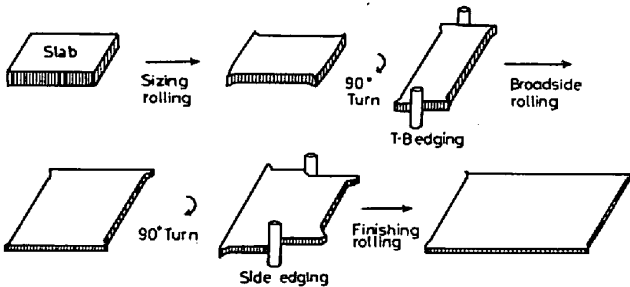


Fig. 1. Schematic illustration of typical edging process.

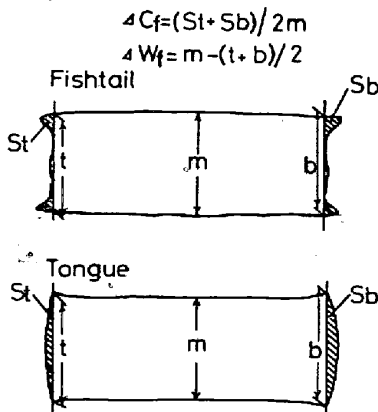


Fig. 2. Definition of endcrop length.

した。先後端クランプ長さ (ΔC_f) についてはクランプ部の面積から矩形換算クランプ長さを求め、幅異形量 (ΔW_f) については長さ方向中央部の幅から先後端クランプ部の幅を引いた値を用いた。なお、先後端クランプ長さは形状がフィッシュテール状の場合を正とし、舌状の場合を負とした。

2.2 実験結果と検討

2.2.1 T-B エッジングの効果

圧延終了後のクランプ量におよぼす T-B エッジングの影響を調査するため、サイドエッジング過程を省略して T-B エッジングと水平圧延のみを行った。その結果を Fig. 3 に示す。T-B エッジング量 (ΔE_c) を大きくすれば幅方向の形状はたいこ状からつづみ状に変化する。すなわち幅出し比に応じて T-B エッジング量を適切に選ぶことにより幅異形量 (ΔW_f) を零とすることが可能である。これは T-B エッジングを行うことによりスラブの先後端部で幅方向に材料移動がおり、幅出し圧延時に生じる材料の欠損部分を補充することができるためである。従つて、幅出し比が小さい場合に T-B エッジング量を大きくしすぎると幅異形量は増加する。

先後端クランプ長さ ($|\Delta C_f|$) は、幅出し比が小さい (1.5) 場合には T-B エッジング量の増加とともに顕著に増大する。一方、幅出し比が大きい (2.1, 2.6) と T-B エッジング量が小さい間はほとんど変化しないが、

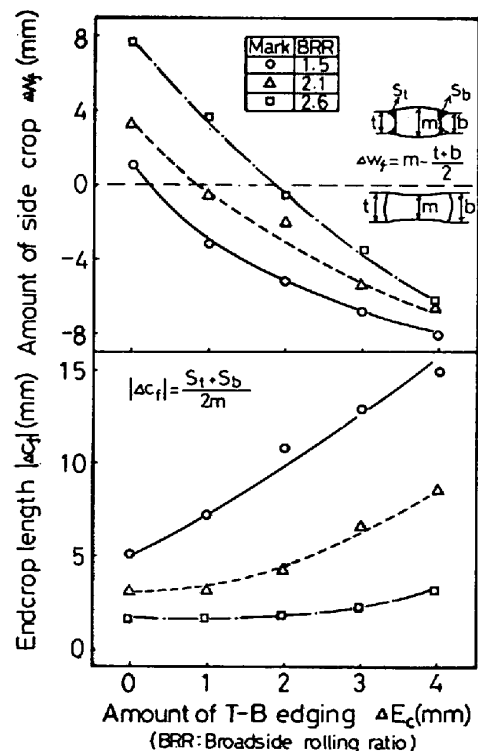


Fig. 3. Effect of T-B edging on plane view pattern.

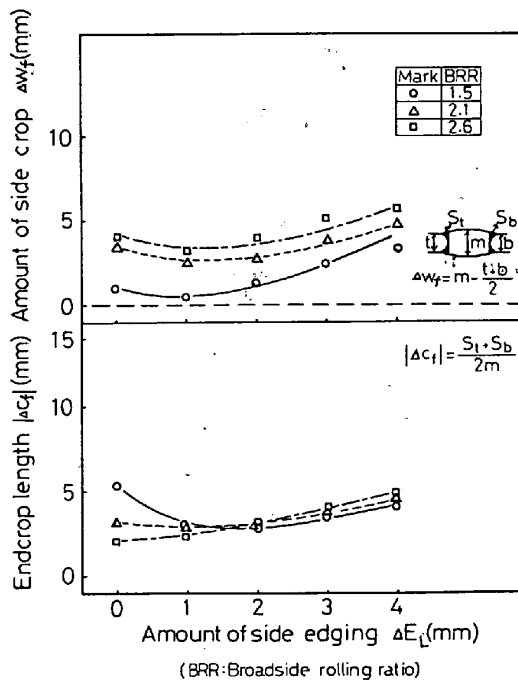


Fig. 4. Effect of side edging on plane view pattern.

T-B エッジング量が大きくなると増大する。また、幅出し比が大きいほどその勾配は小さい。この機構については基本的には井端ら³⁾の考え方で説明できる。

従つて、T-B エッジングは幅出し比が大きい場合には幅異形量の減少に対して有効であるが、幅出し比の小さい時には幅異形量、先後端クロップ長さともに増大させる。

2.2.2 サイドエッジングの効果

次にサイドエッジングのみの効果を調査するために、サイドエッジングと水平圧延のみを行つた。その結果を Fig. 4 に示す。本実験範囲内では、幅方向の形状はすべてたいこ状を示し、サイドエッジング量を大きくすれば幅異形量はわずかながら増大する。また、幅出し比が大きいほど幅異形量は大きい。

先後端クロップ長さは幅出し比 1.5 の場合、サイドエッジング量を大きくすると極小点を持つが、幅出し比 2.1 以上では単調に増加する傾向を示す。また、サイドエッジング量が 2mm 以上では幅出し比が大きくなるほど先後端クロップ長さは大きな値を示す。

従つて、サイドエッジングは幅出し比の小さい場合に有効であり、T-B エッジングとは逆の効果を示す。

2.2.3 T-B エッジングとサイドエッジングの組み合わせの効果

以上の結果から幅異形量および先後端クロップ長さにおよぼす T-B エッジング、サイドエッジングそれぞれ単独の効果が明らかとなつた。これらの結果から T-B

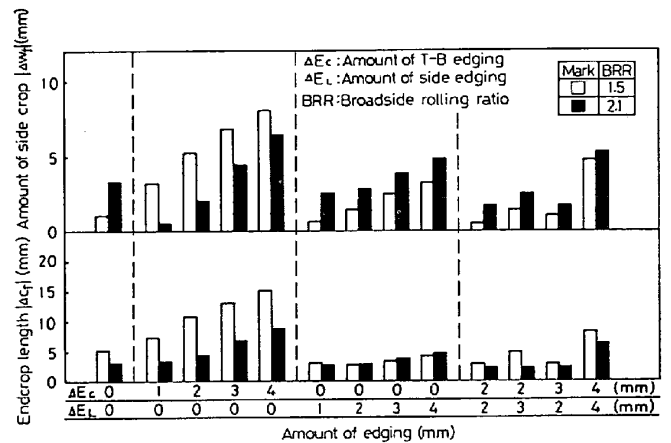


Fig. 5. Improvement of plane view pattern after finishing rolling by combined edging.

エッジングあるいはサイドエッジング単独の場合よりも組み合わせを行つた方が全体のクロップ量は小さくなることが推測される。

そこで、T-B エッジングとサイドエッジングを組み合わせた場合に幅異形量および先後端クロップ長さなどのように変化するかを幅出し比別に調査した。その結果の 1 例を Fig. 5 に示す。本図から幅異形量および先後端クロップ長さそれぞれについて T-B エッジングあるいはサイドエッジングのみの場合よりも低い値とする組み合わせが存在し、その組み合わせは幅出し比によつて異なつていくことがわかる。しかし、同一幅出し比において幅異形量と先後端クロップ長さを最小とする組み合わせは異なつており、全体のクロップ量をできるだけ小さくする適切な組み合わせを見出す必要があることを示している。

2.3 最適エッジング条件の検討

圧延終了後の平面形状は圧延各段階で形成された形状の合成された結果であるから、平面形状の制御方法を確立するためには各圧延段階における平面形状の変化量を寸法条件および圧延条件の異なるものについて把握し、その量に応じた制御を行う必要がある。

そこで、圧延工程を Fig. 6 に示すように 3つの領域に区分し、各領域最終での形状と次領域での形状変化について調査を行つた。

まず、領域 I すなわち幅出し圧延後の形状におよぼす T-B エッジングの効果を図 7 および Fig. 8 に示す。幅出し圧延終了後の幅異形量 (ΔW_1) は Fig. 3 に示した仕上げ圧延後の幅異形量の変化と同様の傾向となるが、両者を比較すれば仕上げ圧延過程において幅異形量はつづみ状に向かうことがわかる。

先後端クロップ形状は T-B エッジング量が大きくな

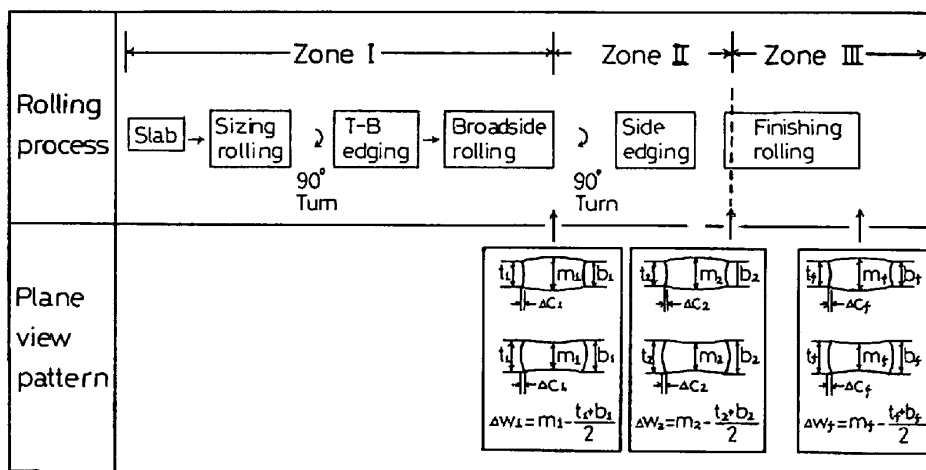


Fig. 6. Schematic illustration of rolling process and plane view pattern.

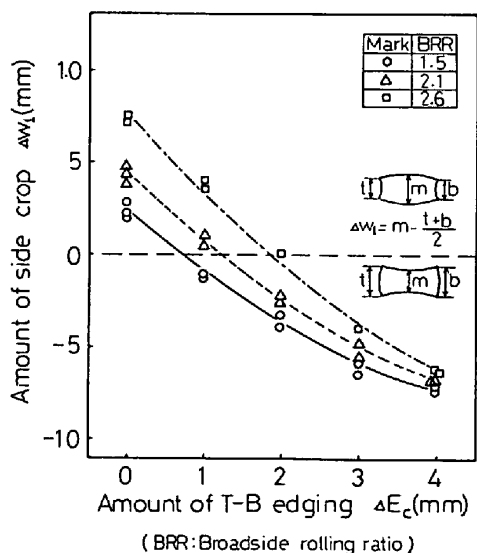


Fig. 7. Effect of T-B edging on side crop after broadside rolling for different broadside rolling ratios.

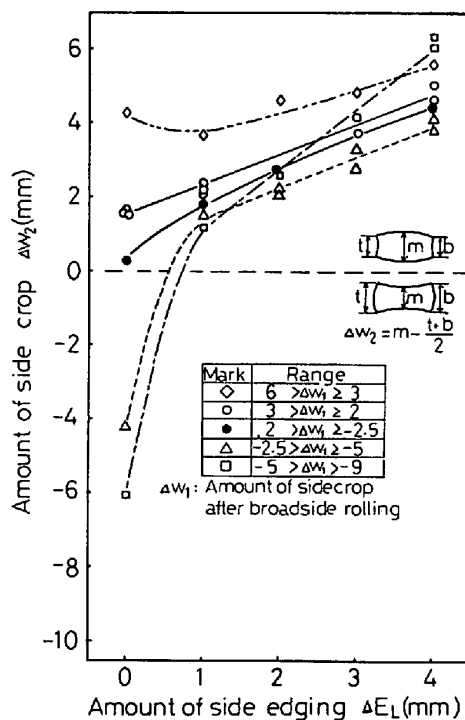


Fig. 9. Effect of side edging on side crop after first finishing rolling pass for different Δw_1 .

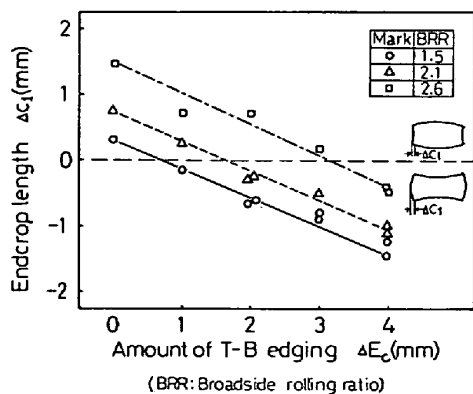


Fig. 8. Effect of T-B edging on endcrop length after broadside rolling for different broadside rolling ratios.

るに従いフィッシュテール状から舌状に変化する。フィッシュテール形状は幅出し圧延時の局所的な幅広がり起因するものであるから、幅出し比が大きいほど幅出し圧延終了後の先後端クランプ形状は大きなフィッシュテール状となり、舌状とするための T-B エッジング量も大きくなることを示している。

次に、領域 II すなわち幅出し圧延完了後の形状がサイドエッジングおよびそれに続く仕上げ圧延を 1 パス行つた後にどのように変化するかを調査した結果を Fig. 9 および Fig. 10 に示す。

サイドエッジング量の増加とともに幅異形量は大きな

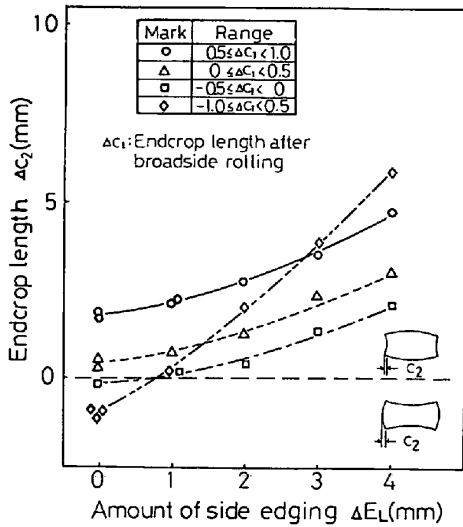


Fig. 10. Effect of side edging on crop length after first finishing rolling pass for different ΔC_1 .

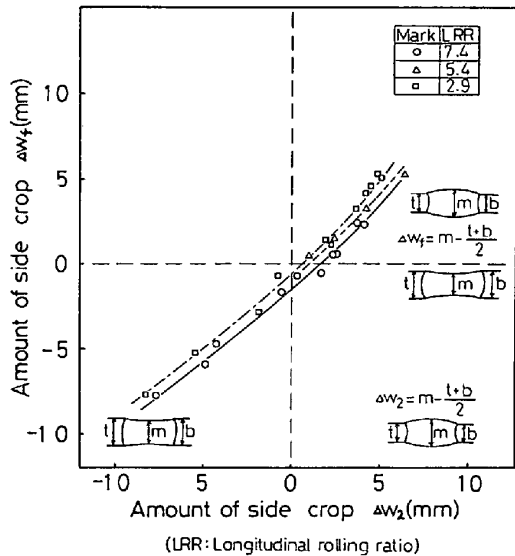


Fig. 11. Relation between side crop after first finishing rolling pass and side crop after finishing rolling for different longitudinal rolling ratios.

たいこ状となり、先後端クランプ長さは大きなフィッシュテール状となる。

一方、幅出し圧延後の幅異形量が小さなつづみ状の場合 (Fig. 9 の△印) に比べて大きなつづみ状の場合 (Fig. 9 の□印) にはサイドエッジング量の増加とともにより大きなたいこ状となる。先後端クランプ形状についても同様の傾向があり、大きな舌状のもの (Fig. 10 の□印) をサイドエッジングすると極端なフィッシュテール状となる。これらの現象も井端ら³⁾の考え方で説明できる。

従つて、幅出し比が小さい場合に T-B エッジング量およびサイドエッジング量を大きくしすぎると幅方向で

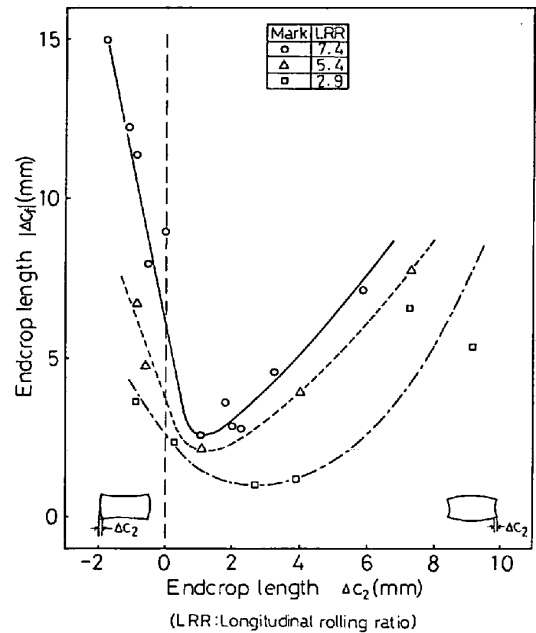


Fig. 12. Relation between endcrop after first finishing rolling pass and end crop length after finishing for different longitudinal rolling ratios.

はたいこ状の幅異形量、先後端部ではフィッシュテール長さが極端に大きくなることを示している。

次に、領域Ⅲすなわち仕上げ圧延過程での形状変化を Fig. 11 および Fig. 12 に示す。仕上げ圧延1パス後の幅異形量 (ΔW_2) がたいこ状の場合は仕上げ圧延によりその値は小さくなるが、つづみ状の場合には大きな値となる。また、仕上げ圧延延伸比が大きいほど圧延終了後の幅異形量はつづみ状となる傾向がある。これは仕上げ圧延過程において定常部に比べ先後端部の幅広がり量が大きく、仕上げ圧延延伸比が増加するほどその差が大きくなることを示している。

圧延終了後の先後端クランプ長さは Fig. 12 に示すように極小値をもち、仕上げ圧延延伸比が大きいほどその値は大きくなる。また、この極小値を与える仕上げ圧延1パス後の先後端クランプ長さ (ΔC_2) は仕上げ圧延延伸比が大きいほど小さな値となる。これは仕上げ圧延過程において幅方向端部に比べ中央部の方が長さ方向への伸び量が大きく、両者の伸び量の差は仕上げ圧延延伸比が増加するほど大きくなることを示している。

従つて、Fig. 12, Fig. 13 の関係から圧延終了後の幅異形量および先後端クランプ長さを最小とする仕上げ圧延1パス後の幅異形量および先後端クランプ長さが決定される。

Fig. 7~Fig. 13 に示した結果から圧延終了後のクランプ量を最小とする T-B エッジング量およびサイドエッジング量の組み合わせを幅出し比、仕上げ圧延延伸比

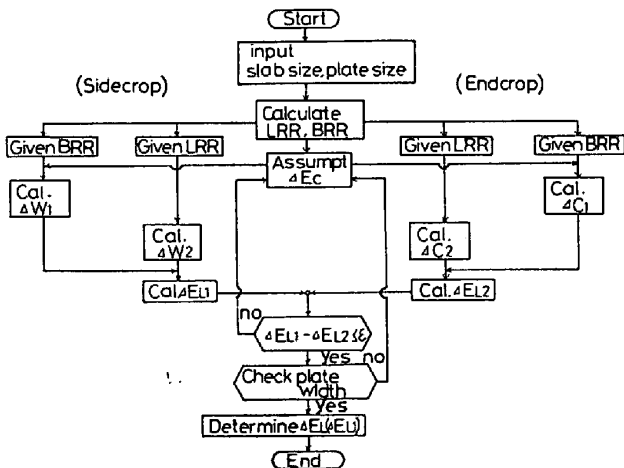
に応じて定量的に決定することが可能である。

3. 実機への適用結果

モデル実験の結果から圧延終了後の平面形状を矩形に近づけるためには仕上げ圧延1パス後の幅異形量および先後端クランプ長さを仕上げ圧延延伸比に応じて制御する必要があることが明らかとなった。

そこで、以上のモデル実験結果と実機での経験にもとづきエッジャ使用方法についての標準を作成した。基本的な考え方は Fig. 13 に示すとおりである。本標準を実機に適用し、圧延実験を行った。供試スラブは連铸スラブを主として使用し、幅出し比および仕上げ圧延延伸比はそれぞれ 1.1~2.6 および 3~9 の範囲で行った。

幅異形量は Fig. 14 に示すようにエッジャ圧延を行わない場合、幅出し比 1.3~1.5 を境としてつづみ状とたいこ状に分かれる。幅出し比が 2.5 以上の場合に幅異形量は 100 mm 近くになるが、最適エッジング条件から決定されたエッジャ圧延を行うことにより ±30 mm 以



ΔE_{L1} : Amount of side edging for minimizing sidecrop.
 ΔE_{L2} : Amount of side edging for minimizing endcrop.

Fig. 13. Flow chart for determination of edging condition.

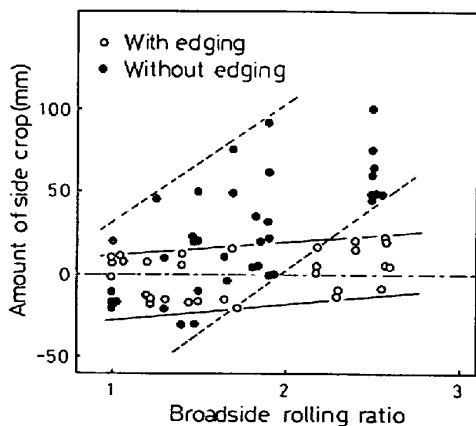
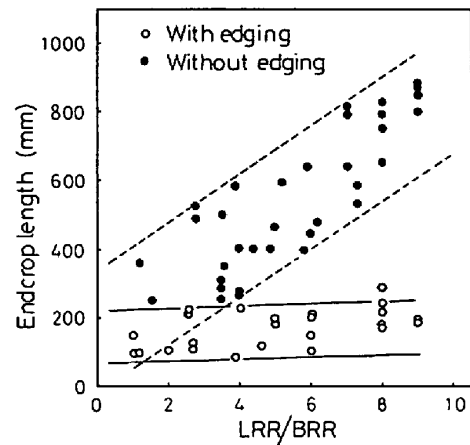


Fig. 14. Improvement of side crop by edging.



(BRR: Broadside rolling ratio)
(LRR: Longitudinal rolling ratio)

Fig. 15. Improvement of endcrop length by edging.

内に制御可能である。

先後端クランプ長さは Fig. 15 に示すようにエッジャ圧延を行わない場合、(仕上げ圧延延伸比/幅出し比)の増加とともに直線的に増加する傾向がある。しかし、最適エッジング条件により T-B エッジング量およびサイドエッジング量を制御することで先後端クランプ長さを 200 mm 以下にすることが可能である。

なお、実際の操業では Fig. 13 に示したエッジング条件は主として寸法の正確な連铸スラブに適用し、シャードれあるいは手入時の溶削部分が大きいスラブに対してはその形状に応じてエッジング条件を使い分けている。

一方、製品厚が 50 mm をこえるような厚物鋼板を圧延した場合、先後端部および幅方向端部で折れ込みが生じる。この理由は板厚の大きい鋼板の圧延では板厚方向の歪み分布が不均一となり、板厚中心部に比べて表層部の伸びが大きくなるためである。エッジャ圧延は板厚内部と表層部との伸び差によつて生じたダブルバレルの凸部を直接圧延するため、折れ込みが発生するまでに板厚断面を平坦にすることができる。

厚さ 300 mm 以上のスラブを供試材としてエッジャ圧延を適用した場合の折れ込み量の変化を Fig. 16 および Fig. 17 に示す。先後端部および幅方向端部に発生する折れ込みはエッジングにより著しく改善されている。

以上のようにエッジャ圧延法は鋼板の平面形状を矩形化するうえで非常に有効であり、厚物鋼板の折れ込みに対しても効果がある。さらに、直接幅制御を行えるため板幅精度の向上にも有効である。これらの結果をスラ

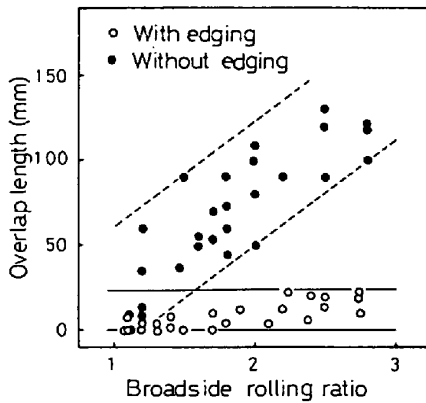


Fig. 16. Improvement of overlap length at side edge by edging.

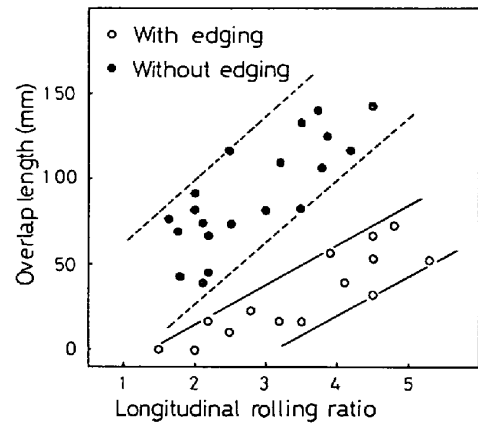


Fig. 17. Improvement of overlap length at endcrop by edging.

ブ設計に反映させることにより歩留りは約 2.0% 向上する。

4. 結 言

鉛板を用いたモデル圧延実験を行いエッジャ圧延による平面形状の改善効果について調査を行った。本実験の結果から最適エッジング条件を検討し、これを実機に適用することにより効果を確認した。

今回の実験で得られた結果は次のように要約される。

- 1) エッジャ圧延により平面形状の矩形化および折れ込み量の低減が可能となり、これによる歩留りの向上は約 2.0% である。
- 2) 仕上げ圧延 1 パス後の最適平面形状を得るためのエッジング条件を検討し、エッジャ使用条件の最適化を行った。この結果を実機に適用することにより幅異形量を ± 30 mm, 先後端クロップ長さを 200 mm 以下にすることが可能である。
- 3) 全体のクロップ量を減少させるためには T-B エッジング, サイドエッジングそれぞれ単独よりも両者を組み合わせることが必要である。
- 4) T-B エッジングは幅出し比が大きい鋼板の幅異

形量を減少させるが、幅出し比の小さい鋼板に対しては幅異形量, 先後端クロップ長さとも増加させる。

5) サイドエッジングは幅出し比の小さい鋼板の矩形度を向上させるのに有効である。

今回、エッジャ設定条件を最適化することによりエッジャ圧延法の効果を確認することができた。今後、圧延幅とロールクラウンの影響を考慮して、エッジャ制御の精度を高めることによりさらに歩留りを向上させることが可能である。また、エッジャ使用にともなう生産性の低下に関しては粗ミル, 仕上げミル 2 スタンド体制のもとでミルペーシングの最適化をはかるとともにパススケジュールの改善を行うことにより対処できるものと考えている。

文 献

- 1) K. TSUBOTA, H. KIKUGAWA, K. BABA, and S. ISOYAMA: Proc. of International Conference on steel Rolling, Sept.-Oct, 1980, Vol. 1. p. 193
- 2) 笹治 峻, 久津輪浩一, 堀部 晃, 野原由勝, 山田稔久, 渡辺和夫: 鉄と鋼, 66(1980), A165
- 3) 平野 坦, 小久保一郎, 井端治広: 第 28 回塑性加工連合講演会講演論文集, (1977, 11), p. 101