

技術報告

ロールによるスラブの熱間縦切断法の開発

藤田 米章*・岡戸 克*・平地 実*²
若狭 浩*²・若松 郁夫*²・服部 弘志*³

Development of Roll Slitting of Hot Slabs

Yoneaki FUJITA, Masaru OKADO, Minoru HIRACHI

Hiroshi WAKASA, Ikuo WAKAMATSU, and Hiroshi HATTORI

Synopsis :

Roll slitting of hot slabs is investigated using an experimental mill and a slabbing mill. Fundamental characteristics are obtained, such as necessary conditions for slitting, deformation behavior during slitting, and required load and torque to slit. Large deformation of shape, such as camber and increase of thickness near slit surface, causes difficulty during handling and rolling of the slab. Based on these experimental results, two practical slitting processes which prevent deformation of slab are developed.

Hot rolling test of slit slabs is conducted using a hot strip mill, and its stability during rolling and the quality of hot coils are as good as those of normal hot rolling.

1. 結 言

近年、各製鉄所においては、連铸比率の飛躍的な向上にとともに、鑄片の圧延工場への熱片装入や直接圧延を大量かつ効率よく行うことが、省エネルギーの面から重要なテーマとなつている。

当社では、従来、冷間でガス切断するため、熱片装入の対象外であつた熱延工場向狭幅スラブを熱片装入の対象とすべく、ロールによる連铸スラブ（以下スラブという）の熱間縦切断法の開発を進めてきた^{1)~3)}。

その結果、ロールによるスラブの熱間縦切断は、既存の分塊圧延機や、熱間粗圧延機に若干の機能を付加することにより実現可能であり、従来のガス切断に比べ、作業性、歩留りとも優れた切断法であることが明らかになつた。

ここでは、1/10 熱間モデル実験での基礎的な検討、実プロセスへの適用方法の考察、および分塊工場での実機試験結果に関し報告する。

2. 各種ロール切断方式の比較

従来、スラブをロールにより長手方向に切断する技術については、切断可否も含め、ほとんど知見がなかつたため、各種の考えられるロール切断方式について、実験的に比較検討した。

実験に用いた切断用ロールの形状を Fig. 1 に、実験条件を Table 1 に示す。切断方式としては、A~Dのロールの組み合わせにより、Table 2 に示す7種類の方式を選び、切断性、切断時の変形等について評価した。

その結果、いずれの方式にても切断は可能であるが、V形状断面のロール（以後V形状ロールという）による1パス切断では、切断材に大きなキャンバーが生じ、また、(6)、(7)の切断方式のように、最終的に剪断ある

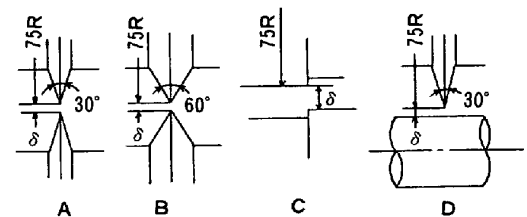


Fig. 1. Roll profiles.

Table 1. Experimental conditions.

| Model size ratio | | 1/10 |
|------------------|-----------------------------|---|
| Slit roll | Dia. Material Profile | 150 mmφ SKD 61 A, B, C, D |
| Test slab | Size Material | 22~40 t × 100~200 w × 500~800 l mm Steel(SS41) |
| Slitting temp. | | 750~1 150°C |
| Roll speed | | ≈ 30 rpm |

昭和 56 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和56年 11 月 6 日受付 (Received Nov. 6, 1981)

- * 日本鋼管(株)技術研究所 (Technical Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)
*² 日本鋼管(株)福山製鉄所 (Fukuyama Works, Nippon Kokan K. K.)
*³ 日本鋼管(株)本社 (Nippon Kokan K. K.)

いは押し切る方法では、大きなねじれ、反りが発生した。これに対し、刃先角の小さいV形状ロールによる2パス切断方式(3)は、切断材に生じる変形が比較的小さく、切断性も良いことが判明した。この方式は、破断面形状も良く、同一ロールでパスを繰り返して切断すればよいことから設備的にも簡単である。

3. V形状ロールの切断基礎特性

3.1 切断可否条件

V形状ロールによる多パス切断時の切断可否は、切断前スラブ残厚 (δ^*) と、それに対する ロール 刃先間隙

Table 2. Comparison of several slitting methods.

| | Roll profile | | Slitting ability | Profile of slit surface | Deformation after slitting | | |
|---|--------------|----------|------------------|-------------------------|----------------------------|-------|---------|
| | 1st pass | 2nd pass | | | Camber | Twist | Turn-up |
| 1 | A | - | ○ | △ | M | - | - |
| 2 | B | - | ◎ | △ | L | - | - |
| 3 | A | A | ○ | ○ | S | - | - |
| 4 | B | A | △ | ○ | S | - | - |
| 5 | A | B | ◎ | △ | L | - | - |
| 6 | A | C | ○ | △ | M | L | - |
| 7 | A | D | ○ | × | S | - | L |

◎ : Excellent, ○ : Good, △ : Fair, × : Bad

◎ : Excellent, ○ : Good, △ : Fair, × : Bad, L : Large, M : Middle, S : Small

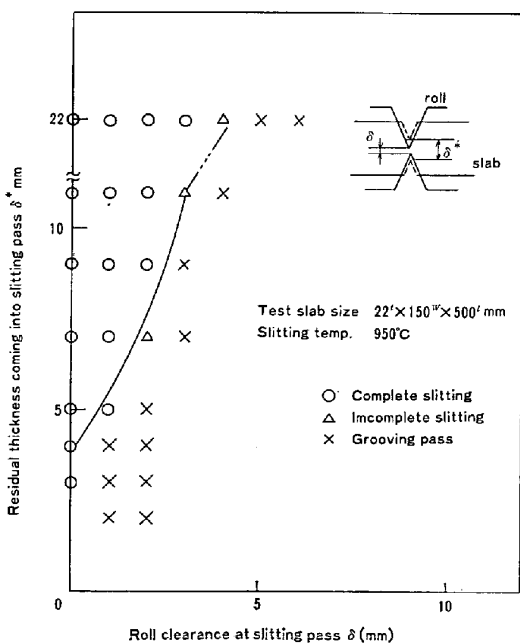


Fig. 2. Relationship between slitting pass schedule and slitting ability.

(δ) によつて決定される。Fig. 2 は、ロール刃先角 30° のV形状ロールを用いた場合の切断可否条件の例である。すなわち、一定の δ^* に対して δ が小さい程切断しやすく、 δ^* が小さくなると、切断パスで引き裂き力が十分に加わらないため、 $\delta=0$ としないかぎり切断が不可能な領域がある。

3.2 切断材の変形

V形状ロールにより切断されたスラブには、通常キャンパーが発生する。このキャンパー量 (Δh) は、切断パススケジュール、スラブ幅等によつて異なり、切断前スラブ残厚 (δ^*) が大きい程、またスラブ幅が狭い程大きくなる (Fig. 3)。

一方、切断されたスラブの切断面近傍にドッグボーン

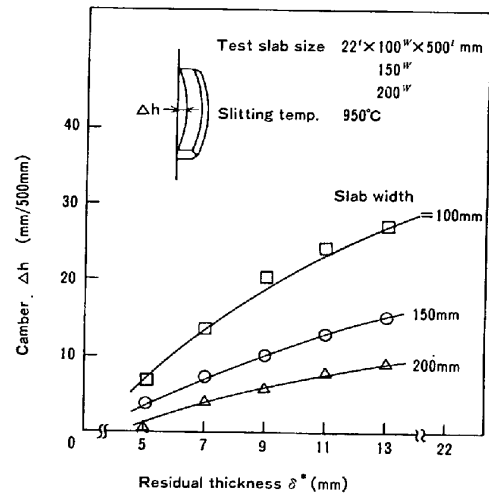


Fig. 3. Relationship between residual thickness coming into slitting pass and camber of slabs after slitting.

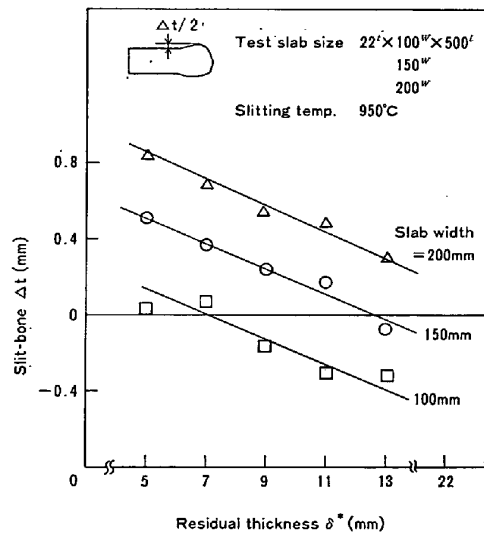


Fig. 4. Relationship between residual thickness coming into slitting pass and slit-bone of slabs after slitting.

状の板厚変化 (以後スリットポーンという) が生じる。このスリットポーン量 (Δt) は、スラブ幅によつてその程度は異なるが、切断前スラブ残厚 (δ^*) が大きい程小さくなり、 δ^* が十分に大きいと負の値になる (Fig. 4)。

この傾向は、キャンパー量とは逆であり、小さなキャンパー量の切断スラブほど、大きなスリットポーンが生じていることを意味している。

3.3 破断面の形状

上下対称なV形状ロールで引き裂くように切断するため、板厚中心部に引張り破断面が生じ、若干のバリが残る。このバリの大きさは、切断パススケジュールの影響を受け、1パスで切断するより多パスで切断する方が小さく、また切断パスのロール刃先間隙 (δ) が小さい程小さくなる (Photo. 1)。

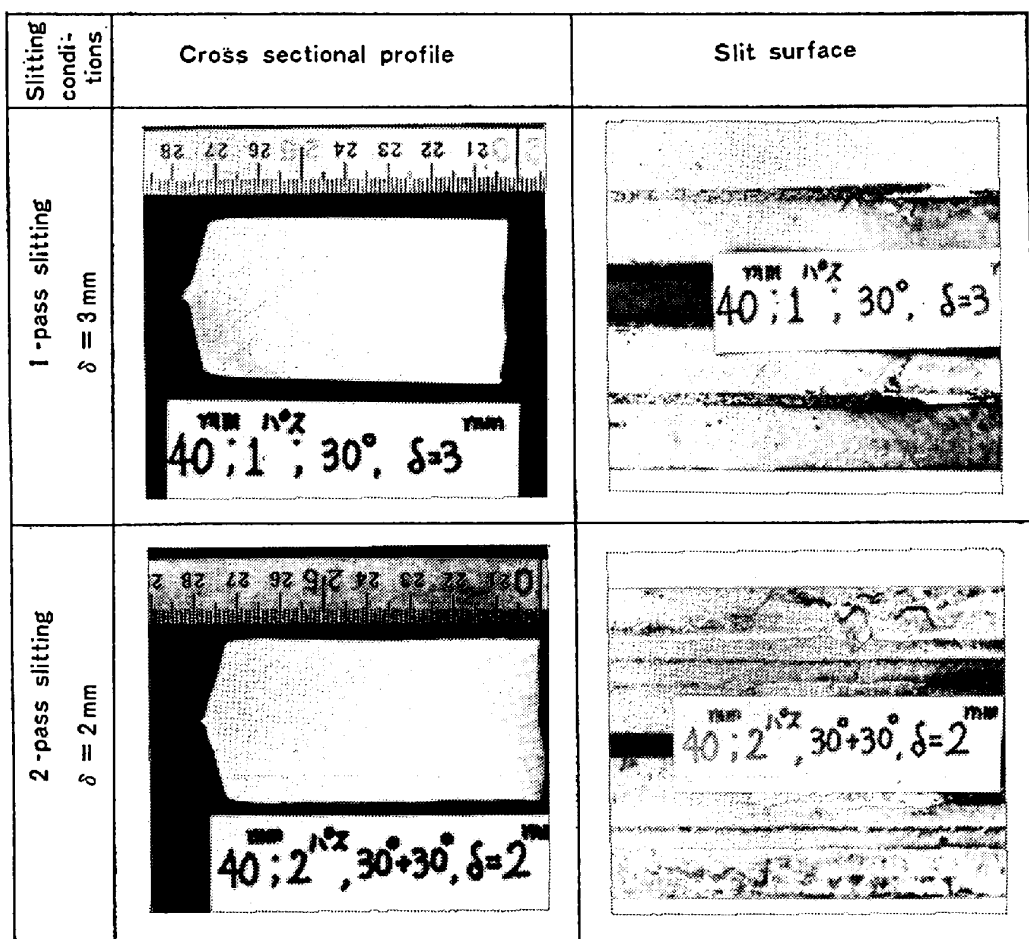


Photo. 1. Cross sectional profiles and slit surfaces of slit slabs.

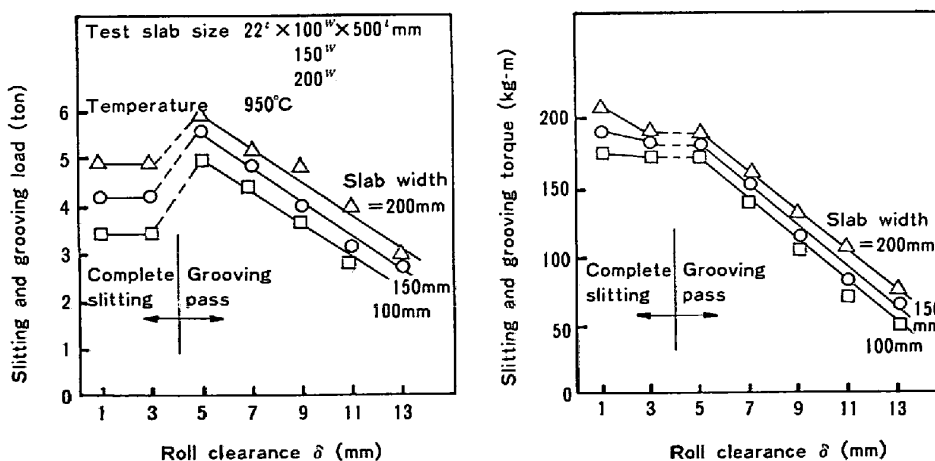


Fig. 5. Slitting and grooving load and Torque.

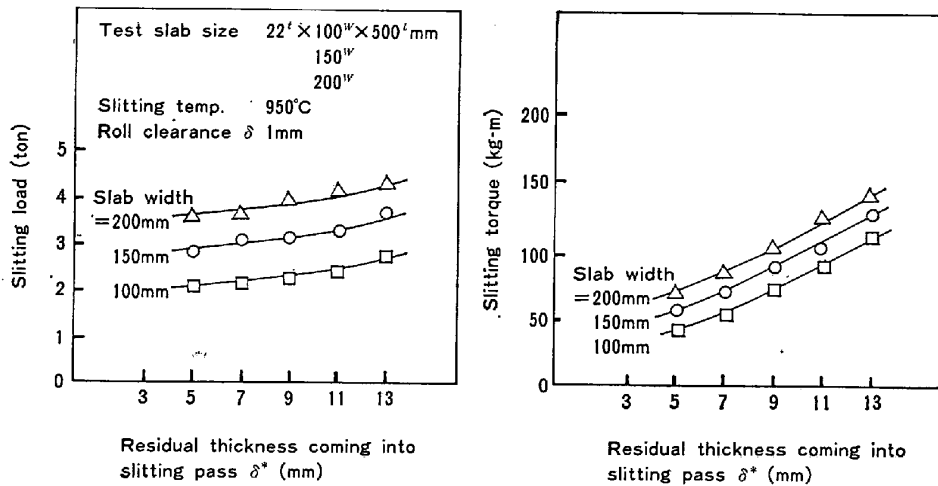


Fig. 6. Slitting load and torque.

3-4 切断負荷

1/10 熱間モデル実験において、1パスでスラブを縦切断しようとした場合の所要荷重とトルクを Fig. 5 に示す。

ロール刃先間隙 (δ) が小さくなる程、荷重は増加するが、 δ が十分に小さく切断が可能な領域では、急激に減少する。これは切断不可能な δ の領域では、V形状ロールによるスラブ幅方向の部分的な圧延であるため、圧延部分に非圧延部分から長手方向圧縮応力が作用しているのに対して、切断可能な δ の領域では、切断ロール出側で、切断スラブにキャンバーが発生することにより長手方向圧縮応力が解放され、荷重が減少するものと考えられる。なお、1パスで切断できなかつたスラブを次パスで切断する場合は、切断前スラブ残厚量 (δ^*) が小さいほど、切断荷重、トルクとも小さくなる (Fig. 6)。

4. 切断スラブのキャンバー、スリットボーンの制御

以上の実験結果から、V形状ロールによる熱間スラブ縦切断は、基本的に可能と考えられる。

しかし、切断スラブに生じるキャンバーは、その程度が大きいと、後工程への搬送時に、テーブル走行性を阻害するとともに圧延時の通板を困難にするなどの問題がある。一方、キャンバーの小さい切断スラブは、切断前スラブ残厚量 (δ^*) を小さくして、切断ロール出側でサイドガイド等により、スラブ側面を幅方向に拘束しつつ切断することにより得ることはできる。しかし、そのようにして得られたスラブを圧延すると、Fig. 7 に示すように、切断時に生じているスリットボーンのため水平圧延時に大きなキャンバーを発生させることが判明した。

このため、切断スラブの熱延工程での通板性を安定させ、良好な製品を得るためには、切断スラブのキャンバー、スリットボーンの両者を制御することが重要であり、基礎的な切断時の変形特性をもとに、実際的な切断プロセスとして、

a) 出側サイドガイド等を用いて、スラブ側面を拘束しつつ切断する方法 (拘束切断法) において、切断後のスラブ断面がほぼ左右対称になるように、あらかじめ切断前スラブ側縁部に予加工する方法 (スラブ予整形拘束切断方式)。

| | Edging reduction (mm) | Flat rolling reduction (mm) |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| ○ | 3.0 | 4.4 |
| ● | 3.0 | 6.6 |
| △ | 4.5 | 4.4 |
| ▲ | 4.5 | 6.6 |
| □ | 6.0 | 4.4 |
| ■ | 6.0 | 6.6 |

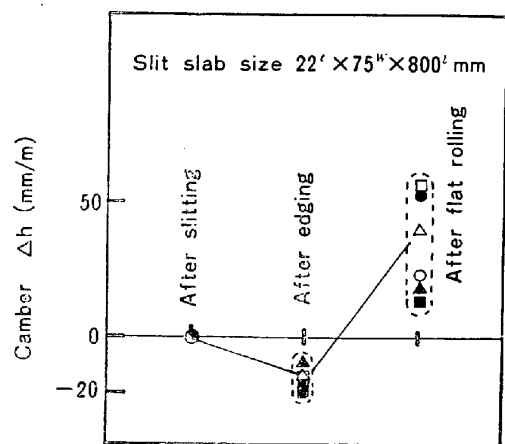


Fig. 7. Camber after edging and flat rolling of slit slabs.

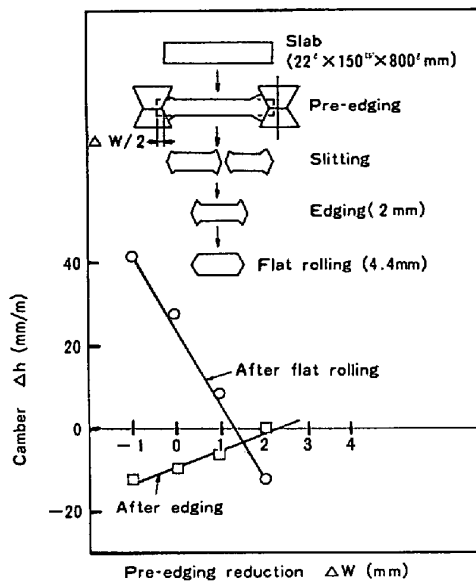


Fig. 8. The effect of pre-edging on camber after edging and flat rolling of slit slabs.

b) キャンパー発生を拘束せず(無拘束切断法)に、切断スラブのスリットボーンが零になるような、切断前スラブ残厚量 (δ^*) で切断し、切断時に発生したキャンパーを矯正する方法。(無拘束切断キャンパー矯正法)の二つを取り上げ検討することとした。

このうち(b)は、実機において容易に確認できるため、(a)について、あらかじめ、1/10 熱間モデルにて基本的な可能性を検討した。

Fig. 8 に、スラブ予整形法として、切断前スラブを幅圧延し、切断時に生じるスリットボーンに見合うドッグボーンを形成しておく方法をとった場合の予整形の効果を示す。すなわちスラブ予整形拘束切断方式は、切断前スラブに加える幅圧下量を適正に選択することにより、後工程圧延時のキャンパー発生を十分に防止できる。

5. 実機試験

1/10 熱間モデルによる基礎的な実験結果をもとに、実機での切断性、およびキャンパー、スリットボーンの制御方法を確性するため、福山製鉄所分塊工場にて実機試験を実施した。さらに、実機試験によつて得られた切断スラブは、熱延通板性および製品品質の確性のため、熱延工場にコイルに圧延した。

Fig. 9 に試験を行つた分塊ユニバーサル圧延機の設備配置を、Table 3 には試験条件を示す。

切断用ロールには、ユニバーサル圧延機の水平ロールを使用し、ロール胴長中央部に4分割セグメント方式の断面V形状のナイフをボルトで装着した。また切断スラブのセンタリング、キャンパーの発生防止および矯正に

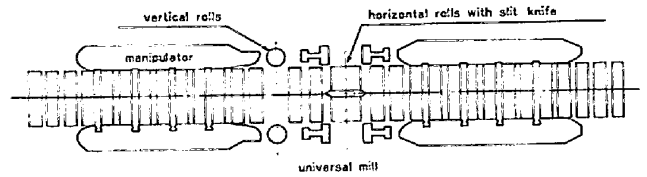


Fig. 9. Universal slabbing mill.

Table 3. Experimental conditions.

| Slitting stand | Universal slabbing mill |
|--------------------|---------------------------------|
| Tip angle of knife | 30° |
| Dia. of knife-roll | 1 070 mm |
| Rolling speed | 15~35 rpm |
| Slit slab | C. C.-slabs |
| Steel grade | Low carbon mild steel |
| Size | 220 t x 1 150~1 900 w x 9 000 l |
| Surface temp. | 700, 1 000~1 100°C |
| Slitting passes | 1~4 |

は、堅ロールおよびサイドガイドを使用した。

5.1 切断状況

連铸スラブを再加熱しないで切断することを想定して切断時のスラブ表面温度は、700~1 000°Cの範囲で調整したが、この温度範囲では、無拘束切断法、切断ロール出側で堅ロールにてスラブ側面を拘束する拘束切断法ともに切断が可能であり、温度による切断性の差は認められなかつた。また、切断用ロールには、冷却水を使用したこともあつて、焼きつき、クラック発生等の大きな損傷は認められなかつた。

切断されたスラブには、1/10 熱間モデルと同様、キャンパー、スリットボーンが発生している。Fig. 10 は、実機での切断スラブに生じるスリットボーン量 (Δl) と、切断前スラブ残厚 (δ^*) の関係を示したものであり、無拘束切断法では、スリットボーンを零にする切断条件があるが、拘束切断法は、それが困難であることがわか

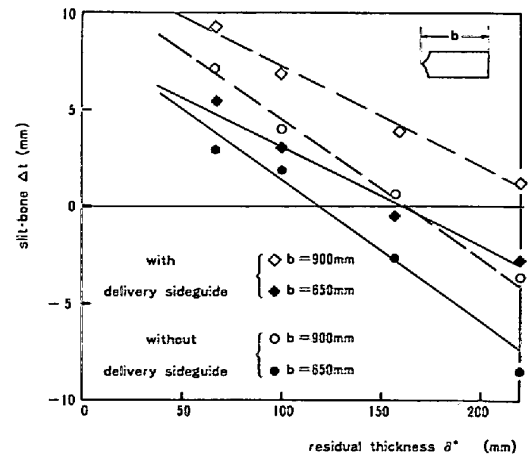


Fig. 10. Relationship between slit-bone and residual thickness.

Fig. 10. Relationship between slit-bone and residual thickness.

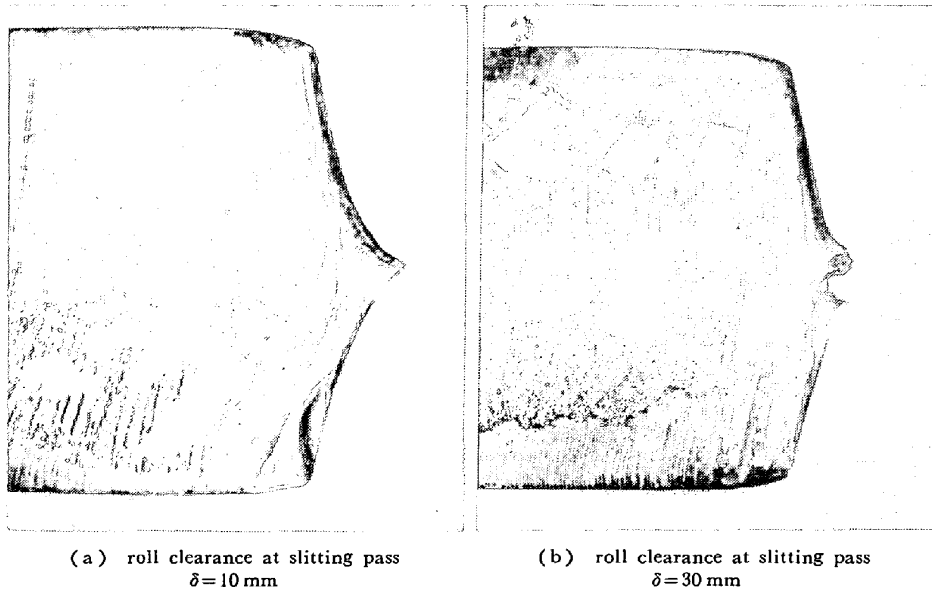


Photo. 2. Cross sectional profiles of slit slabs.

る。

切断面の形状は、切断パスのロール刃先間隙 (δ) が 30 mm 以上では、中央部に引張り破断面が残り好ましくないが、 δ を 30 mm 未満にすれば、切断時のメタルフローにより、引張破断面は表層圧延組織に包み込まれるため良好なものとなる (Photo. 2)。

切断スラブの幅精度は、第一パスの切断ロール入側で、幅精度の高い堅ロールを活用してスラブのセンターングを行うことにより、目標切断幅に対する幅偏差 ± 10 mm 以内、切断スラブの長手方向幅変動 ± 10 mm 以内にすることができた。

切断に要する荷重は、溝つけ、切断の各過程で、200 ~ 600 t 程度であり、1/10 熱間モデルから、縮尺の 2 乗に比例するとして推定される値の範囲である。

5.2 キャンバー、スリットボーンの制御

切断スラブのキャンバー、スリットボーンの制御法として二つの方式

- a) スラブ予整形拘束切断方式
- b) 無拘束切断キャンバー矯正方式

について実機適用性の確認を行った。

5.2.1 スラブ予整形拘束切断方式

スラブ予整形方式として、切断ロールに幅圧延用カリバーを設けて幅圧延する方法によつて、その効果を確認した。その結果、予整形時の幅圧下量を、スラブ幅に応じて適正に設定することにより、切断スラブのスリットボーン量と、幅圧延時のドッグボーン量の差を 2 mm 以内に、また切断スラブのキャンバー量も全長 9 m に対し、ほぼ 45 mm 以内に抑えることができた。

5.2.2 無拘束切断キャンバー矯正方式

無拘束切断における切断前スラブ残厚 (δ^*) と、スリットボーン量 (Δt) の関係は、実機において、Fig. 10 のようになるので、切断パススケジュールを適正に設定することにより、スリットボーン量を零にする切断は可能である。しかし、切断完了後、発生したキャンバーを矯正しようとする、キャンバー量が過大で、矯正が困難である。そこで、Fig. 11 のように、途中で切断を中断して、堅ロールにてキャンバー矯正を行う作業を数回繰り返して、スラブ全長を切断する方法を採用した。

(無拘束切断キャンバー段階矯正方式)

その結果、切断スラブには、スリットボーンがなく、キャンバー量 (Δh) も、9 m のスラブ長に対し、ほぼ 45 mm 以下とすることができた。

5.3 切断スラブの熱延通板結果

(1) 通板性

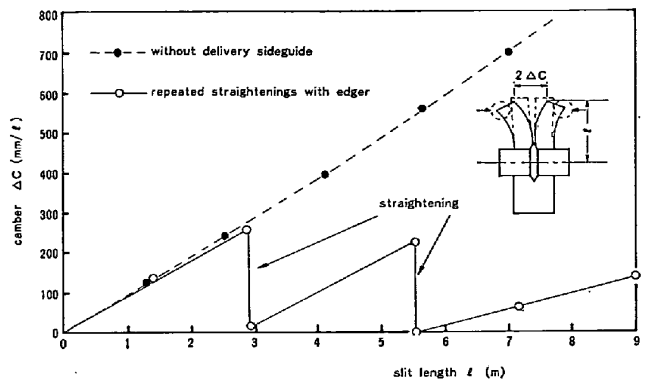


Fig. 11. Relationship between camber and slit length.

スリットポーンを有するスラブは、粗水平圧延1パス目にて $\sim 500 \text{ mm}/9 \text{ m}$ のキャンパーを発生する。

これに対して、スラブ予整形拘束切断方式および、無拘束切断キャンパー段階矯正法で得られた切断スラブは、ほとんどキャンパーが発生せず、安定して通板することができた。

(2) クロップロス

クロップロスは、通常スラブを圧延したものとほぼ同じで、先後端合計 $0.1 \sim 0.3 \text{ wt}\%$ 程度である。

(3) 製品品質

ホットコイルの幅変動、板プロフィールは、おののおの Fig. 12, Fig. 13 に示すが、これらは、通常スラブから得られるものとほぼ同等である。すなわち切断スラブの幅精度が十分良好で、また、スラブの断面形状は、製品プロフィールにはほとんど影響を及ぼしていない。

なお、スラブ切断面のバリは、圧延中にコイル表面に

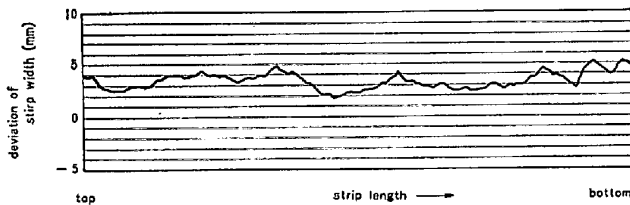


Fig. 12. Deviation of strip width along the length.

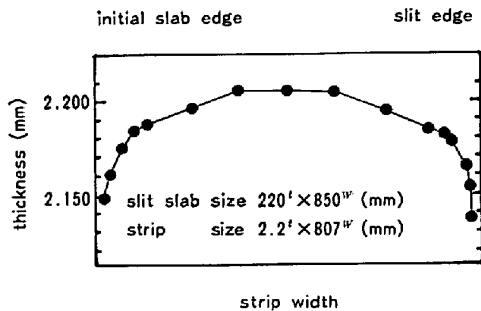


Fig. 13. Strip profile after finish rolling.

まわり込むことは認められず、表面品質には悪影響をおよぼしていない。

6. 結 言

ロールによるスラブの熱間縦切断法に関し、その可能性および実プロセスへの適用性を検討した結果、以下の結論を得た。

(1) ロールによるスラブの熱間縦切断方式としては、一对のV形状ロールによる2パス切断方式が最適である。

(2) 切断スラブに発生するキャンパー、スリットポーンは、後工程への搬送、圧延時の通板性を阻害するため、最小限にその変形を制御することが必要である。

(3) キャンパー、スリットポーンの制御法としては、

a) スラブ予整形拘束切断方式

b) 無拘束切断キャンパー段階矯正方式

が有効であり、これらは、既存分塊ミル等に若干の改造を加えるのみで、作業上何ら問題なく実施可能である。

(4) 切断されたスラブを熱延に通板した結果、品質、歩留り等、通常スラブの場合とほぼ同程度に良好なコイルが得られた。

なお、ロールによる縦切断法の実操業への適用にあたっては、設置場所として

a) 連続铸造機後面, b) 熱間圧延加熱炉装入側,

c) 熱間粗圧延機前面, d) 既設分塊ラインの利用等が考えられる。

文 献

- 1) 藤田米章, 上野 康, 岡戸 克: 鉄と鋼, 67 (1981), S 282
- 2) 若松郁夫, 平地 実, 青木譲二, 大胡 馨, 若狭 浩: 鉄と鋼, 67 (1981), S 283
- 3) 藤田米章, 岡戸 克, 若狭 浩: 鉄と鋼, 67 (1981), S 1033