
鋼帯のエッジ研削装置の開発

Development of an Edge Grinding Device for Hot Rolled Coil

椎葉 末信(Suenobu Shiiba) 秋田 一成(Kazushige Akita) 山崎 忠(Tadashi Yamazaki) 香西 伸時(Shingi Kosai) 丹羽 康之(Yasuyuki Niwa) 神谷 昭彦(Akihito Kamiya) 佐藤 隆三(Ryuzo Sato)

要旨：

ステンレス鋼のホットコイルをトリミングなしで冷間圧延する際の問題点は、エッジ部のミクロクラックが原因となって生じる耳割れである。このミクロクラックを除去する方法として、溶断、切削などの方法も考えられるが、円板形砥石を使用し、その回転軸をホットコイル進行方向に対し、並行に配置した研削方法が最良であった。この方法の実用化により、一例として、ライン上のホットコイルをエッジから 0.5mm 研削した場合、板厚 4.5mm の母板を 0.4~0.7mm の薄物まで中間焼鈍なしで圧延でき、SUS430 鋼の冷延後スキンパス歩留りが 3%向上した。

Synopsis：

Usually, hot rolled stainless steel coils are trimmed at both edges before cold rolling on the Sendzimir Mill, in order to prevent edge cracking. The authors have developed a new efficient trimming method to improve physical yields. This report introduces the following: (1) Edge cracking by cold rolling was caused by small edge cracks of hot rolled stainless steel coils. (2) After removing the small edge cracks by grinding an edge width of 0.5mm, the coil can be cold rolled without an edge trimming of 20 to 25mm in width. (3) As method of removing the small cracks, the Edge Grinding System has been developed, which improves physical yield at skin pass rolling by 3% in the case of SUS 403 steels. (4) In the Edge Grinding System, horizontal grinders are provided on both sides of the strip by installing their rotary shafts in parallel to the direction of the passing line

(c)JFE Steel Corporation, 2003

鋼帯のエッジ研削装置の開発

Development of an Edge Grinding Device for Hot Rolled Coil

椎 葉 末 信*

Suenobu Shiiba

秋 田 一 成**

Kazushige Akita

山 崎 忠***

Tadashi Yamazaki

香 西 伸 時*

Shingi Kosai

丹 羽 康 之****

Yasuyuki Niwa

神 谷 昭 彦*****

Akihito Kamiya

佐 藤 隆 三*****

Ryuzo Sato

Synopsis:

Usually, hot rolled stainless steel coils are trimmed at both edges before cold rolling on the Sendzimir Mill, in order to prevent edge cracking. The authors have developed a new efficient trimming method to improve physical yields.

This report introduces the following:

- (1) Edge cracking by cold rolling was caused by small edge cracks of hot rolled stainless steel coils.
- (2) After removing the small edge cracks by grinding an edge width of 0.5mm, the coils can be cold rolled without an edge trimming of 20 to 25mm in width.
- (3) As a method of removing the small cracks, the Edge Grinding System has been developed, which improves physical yield at skin pass rolling by 3% in the case of SUS 403 steels.
- (4) In the Edge Grinding System, horizontal grinders are provided on both sides of the strip by installing their rotary shafts in parallel to the direction of the passing line.

1. 緒 言

ステンレス鋼のホットコイルをトリミングなしで冷間圧延する際の問題は、エッジ部の微細なマイクロクラックが原因となって生じる耳割れである。このホットコイルのマイクロクラックを除去するため、一例として、ライン上のホットコイルをエッジ部から0.5mm研削すれば、板厚4.5mmの母板を0.4~0.7mmの薄物まで中間焼鈍なしで圧延が可能となり、歩留りは大きく改善される。

阪神製造所、西宮地区では、昭和50年より、ステンレス鋼冷延工程での歩留り向上策の検討に着手し、ホットコイルのトリミング量の減少をはかるため、トリミングに替わる、エッジ部の研削方法の実用化をはかった。

このマイクロクラックを除去する方法¹⁾として、溶断、切削などの方法が考えられるが、円板形砥石を使用し、その回転軸をホットコイル進行方向に対し、並行に配置した研削方法が最良であったのでここに報告する。

* 阪神製造所設備部設備技術室
 *** 阪神製造所企画部企画開発室主査（副部長待遇）
 ***** 阪神製造所西宮製造部製造技術室主査（課長待遇）
 [昭和55年12月10日原稿受付]

** 阪神製造所設備部設備技術室主査（課長待遇）
 **** 阪神製造所西宮製造部冷間圧延課掛長
 ***** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査（掛長待遇）

2. 装置の概要と主仕様

ライン構成を Fig. 1 に装置の概要を Fig. 2, 3 に、その主仕様を Table 1 に示す。

3. 技術検討項目

被研削材であるホットコイルが、ライン速度 40m/min で流れている状態で、そのエッジ部を研削

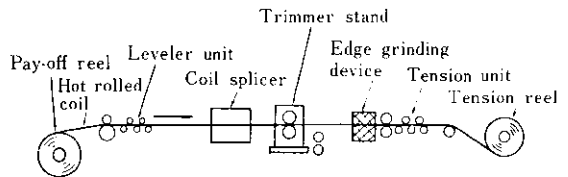


Fig. 1 Schema of edge grinding device

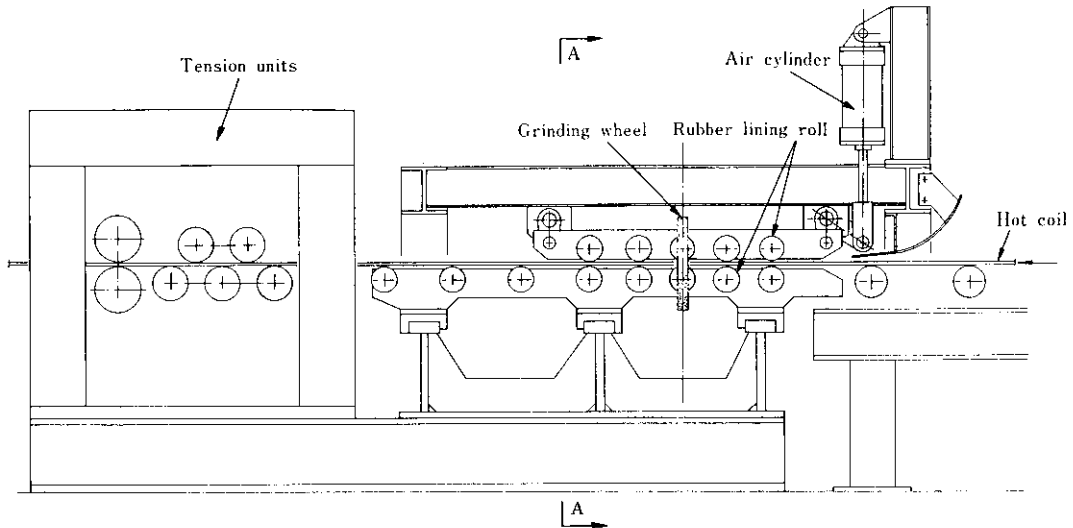


Fig. 2 Arrangement of edge grinder

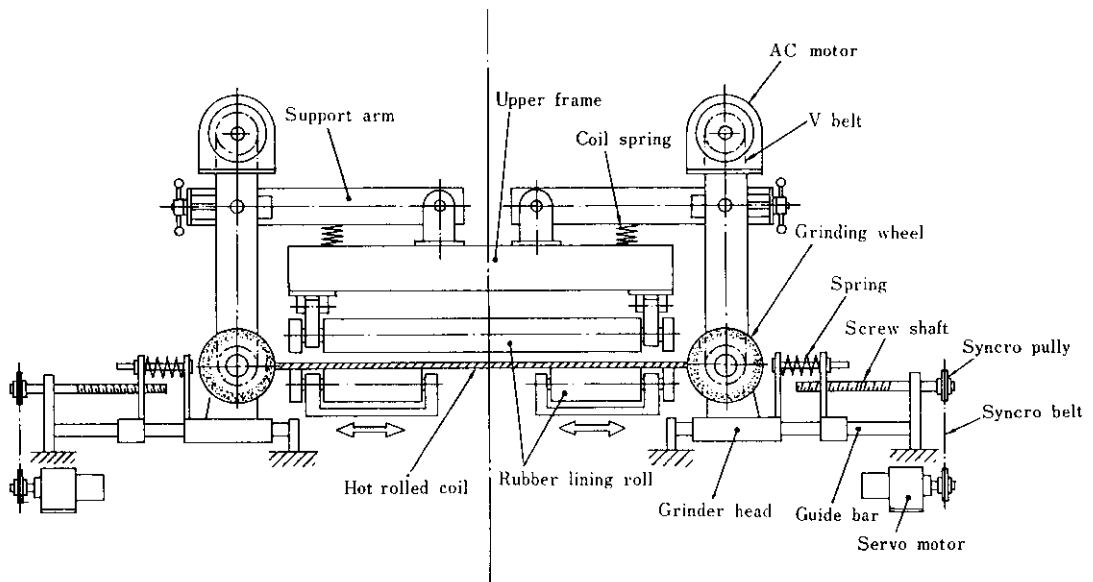


Fig. 3 A-A section shown in Fig. 2

Table 1 Specification of edge grinder

Equipment	Item	Specification
Edge grinder	Grinding motor	A.C.7.5kW, 2p, 220V, 3 600rpm.
	Grinding wheel	O.D. 305mm ϕ I.D. 50.8mm ϕ Width 38mm
	Spindle revolution	3 100rpm
	Grinding pressure	0~50kg by Spring
	Guide roll	Rubber lining roll O.D. 90mm ϕ
	Grinding direction	Down cut at vertical
	Grinding speed	3 000m/min
	Line speed	Max. 40m/min
	Coil width	1 040mm~1 270mm
	Coil thickness	3.0mm~4.5mm
Servo mechanism	Servo motor	D.C.1.5kW 3 000rpm.Reduction ratio 11:1
	Servo amp	Power transistor.D.C.146V.Speed control Ratio 500:1 Speed fluctuation ratio 1000:1

砥石²⁾によって0.5mm程度削除するという要求は、従来の一般的な研削例では経験されない種々の問題が予想される。

以下開発過程でのおもな問題とその解決の方策について述べる。

3・1 砥石形状の選択

Fig. 4に示すディスク形および平形について調査^{3,4)}および実験を行なった結果、ディスク形は平形と比較し、①被研削材の振動が大きくなり、研削音が高い、②被研削材のガイドを高精度に行なう必要がある、③研削馬力が大きくなる、などの不利な点があるため平形採用に決定した。

砥石の当て方についてはFig. 5に示すように30°傾斜と垂直の時の研削状態を比較した結果、30°傾斜研削のときは研削音が低くなり、板振動も軽減されるが、研削を続けると、砥石外周部の中央部が摩耗して“つぶみ形”となり、コイルエッジの研削面の形状が丸みを帯びて圧延のためには端面形状が悪化するので垂直に当てる方式とした。

また、ホットコイルの両エッジを同時に研削できるように砥石ヘッドを両側に配置し、砥石の回転方向は板の振動を抑制するように下向きに押え

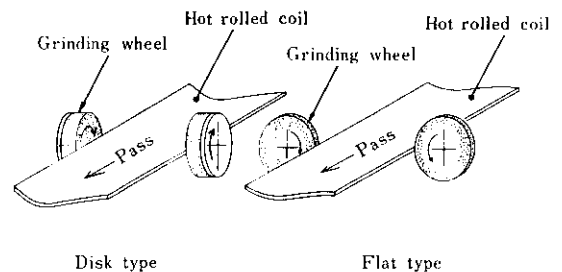


Fig. 4 Grinding wheel form

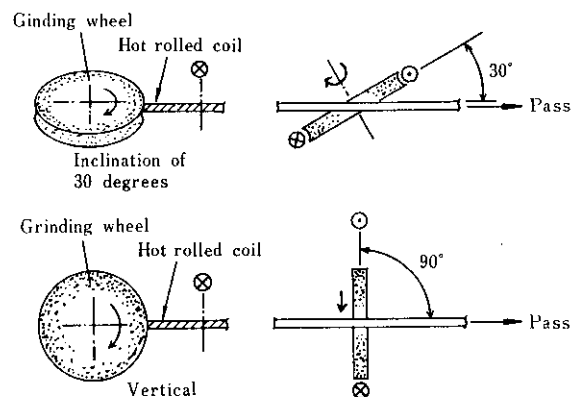


Fig. 5 Grinding direction

て研削するようにした。

3.2 砥石種類の選択

研削比は砥石の損耗量に対する研削量の比で表わされ、砥石選択の目安^{5,6)}として使用した。この値は砥石1個の費用あたりどれくらい削れるかを知り比較するのに役立つが、削除速度が考慮されていない⁷⁾ことと、砥石の費用は一般に全研削作業費の4~6%と言われていることから、本装置においての研削比は実験結果から、砥粒：A、粒度：36、結合度：P、の砥石を採用して、7~10程度を狙い、研削比が低くても削除速度の早い砥石を選ぶことに主眼をおいた。

ちなみに一般の研削加工においての研削比は40程度である。

3.3 研削馬力

次に研削用モータの選定に際し、研削馬力の推定検討を行なった。

研削馬力の算出には次の式⁸⁾を用いた。

$$F_t = E \cdot \Delta \cdot b \cdot v / V \quad \cdots \cdots (1)$$

$$P = F_t \cdot V / 612\,000 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、

- F_t : 接統方向の研削抵抗 (kg)
- E : 比研削エネルギー (kg·cm/cm³)
- Δ : 切込量 (cm)
- b : 研削幅 (cm)
- v : 送り速度 (cm/min)
- P : 研削馬力 (kW)
- V : 砥石周速 (cm/min)

被研削物がSUS 304で、切くずの大きさがラージチップの場合

$$E = 1.55 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^3 \text{ となり } (1), (2)$$

式より

$$F_t = 1.55 \times 10^5 \times 0.05 \times 0.35 \times 4\,000 / 300\,000 \\ = 36.2$$

$$P = 36.2 \times 300\,000 / 612\,000 = 17.7 \text{ kW}$$

となる。

しかし実験における結果では、上記計算馬力の50%程度で十分研削できることが判明した。したがって本研削装置には7.5kWを採用している。

3.4 砥石圧下方法

グラインダーヘッドは最終的にスクリーシャフトとの間に圧縮コイルバネを介してストリップエッジに圧着する方法を採用したが、これでコイルバネを利用したのはストリップエッジ部の深さ3mm、幅20mm以下の急激な凹部および段付部をスムーズに研削するためと、研削時の砥粒破碎による微振動の吸収のために必要なものである。バネの選定にあたっては後述する研削量制御系の設計のなかでの解析と実験によった。結果はバネの効果は大きく不可欠の要素であることが判った。

3.5 研削量制御

砥石ヘッドによる切込深さを、ホットコイルエッジ部の蛇行に追従させて一定に保つためには、砥石ヘッドの前進、後進送りを制御することが必要である。

しかし0.5mm前後の切り込み深さを、直接検出してヘッド位置を制御することは、砥石径の変化、負荷の変動等、制御の安定性のための問題が多いため、今回次の方法を採用した。すなわち、切り込み深さはホットコイル速度を一定とすると、時間あたりの研削量に比例し、またこの研削量は研削電流に比例するものとして、研削電流を一定とすることにより間接的に切り込み深さを一定に制御するようにした。

研削電流を一定とする具体的な回路をFig.6に示している。

定電流制御系の精度は±5%を目標として検討した。

当制御系には1次おくれの研削モータ、2次振動のバネと質量系を含むために、ループゲインを高く上げられず、最終的に開ループゲイン6¹/₅で目標精度に到達させている。

3.6 摩擦抵抗と重量の軽減

研削量制御の精度を向上させるためには、可動部の摩擦損と重量の軽減が必要である。

摩擦抵抗を極力小さくするために、研削用砥石ヘッドは、各々バスライン中心方向へ可動しやすいように2本のスライドバー上に組み込み摺動部にはリニアモーションボールベアリングを取付けた。砥石ヘッドの前進、後進動作による切込量のコントロールはサーボモータでスクリーシャフ

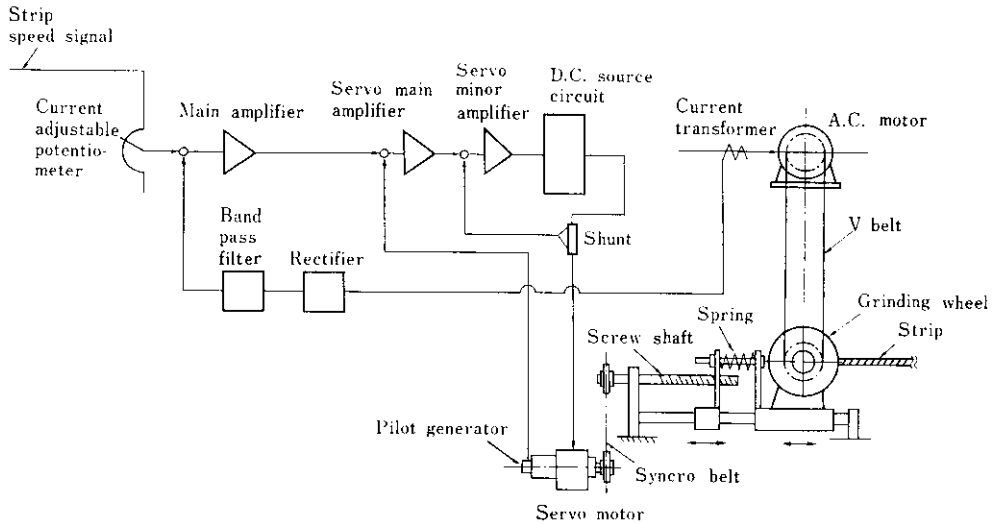


Fig. 6 ACR block diagram

トを正、逆回転させ、前記圧縮バネを介して、前後進させている。

砥石ヘッドのスピンダル駆動用モータはブーリと架台の重量を加えると 100kg を越えるので、重量の軽減によって追従性を向上させるために、研削用モータと砥石ヘッドを別置きにした。

可動部はコイルバネで支持された水平フレームにピン結合され、懸垂支持されている。

3.7 砥石割れ対策

エッジ研削を連続して行なうと砥石全体の温度が研削熱により徐々に高くなる。この状態で砥石の回転を止めずに、砥石ヘッドを後退させて研削を中止すると、砥石外周部の表面だけが急速に冷却され、温度分布が不均一となり熱歪を発生し砥石の外周部から亀裂が入り、熱応力により破壊に至ることが、研削実験の繰り返して判った。

Fig. 7 に約 400m のコイルを連続研削後、砥石の回転を停止させてから、1 分後と 6, 7 分後に砥石各部の温度を接触温度計により測定した結果を示した。

砥石は 90°C の温度差があれば熱応力で破壊することがわかっており、今回の場合は遠心力が加わるので、これより低い 30~35°C の温度差で破壊する。

前記問題点の対策として、砥石外周表面の急激

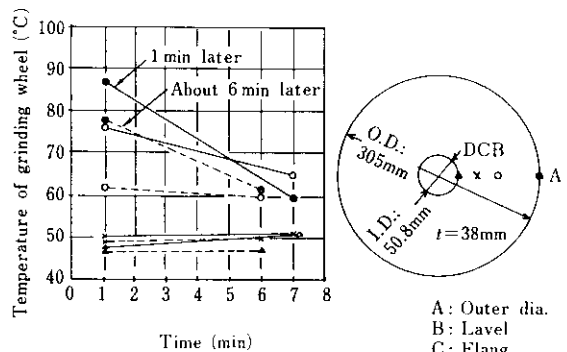


Fig. 7 Temperature change of grinding wheel surface

な冷却を防止すれば、熱歪による砥石破壊は免れることに着目し、研削作業を中止すると同時に回転を停止させるようにしたところ、結果は良好でその後アルミナ砥石でも同様な砥石割れは発生していない。

4. 付帯設備

4.1 砥石径検出装置

ホットコイルエッジ部を砥石で研削すると砥石摩耗により径が減少するので、砥石寿命の予知および、必要な砥石周速の維持を目的に、砥石径を常時監視⁹⁾する、砥石径検出装置を設置した。

装置の概要は Fig.8 に示す。検出方法は研削後のエッジ部へのタッチロールと摺動ロッドと、砥石の減少量を測定する差動トランスとを備えたもので、タッチロールはコイルエッジ部へ、常時接触するようにコイルバネにより軽く圧下した状態にしている。また検出装置は砥石スピンドル軸受と共用の移動台上に設置しているので、連続的に砥石の摩耗量を測定できる。

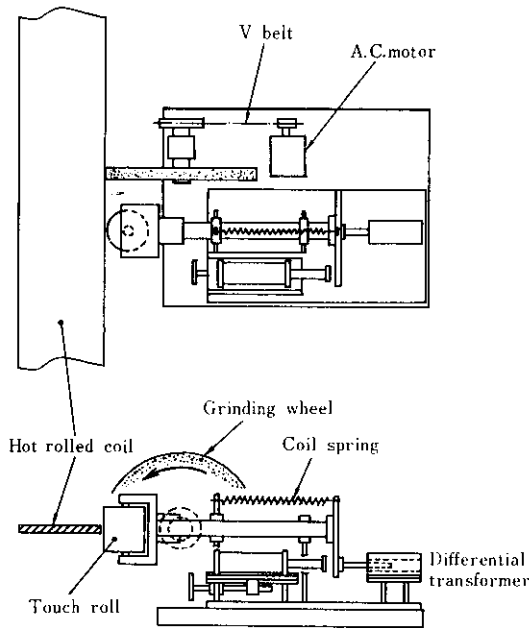


Fig. 8 Grinding wheel diameter detector

4.2 段付検出装置

実際の操業においては、ホットコイル特有の耳割れ、耳曲りなどのエッジ部の重欠陥での研削砥石の破損による危険性、原単位の増加、生産性の低下の要因をはらんでいる。

これらを回避するためには、ホットコイルエッジ部の状態(凹部および段付部)をあらかじめ検出することが重要である。

本検出装置は、検出精度として、深さ 3mm 以上、幅 20mm 以上の凹形のコイルエッジ部の形状を検出できるようにしたもので、この数値は砥石幅が 38mm であるため、凹部に砥石がはまり込まない数値を採用した。

段付検出装置の概略を Fig.9 に示す。

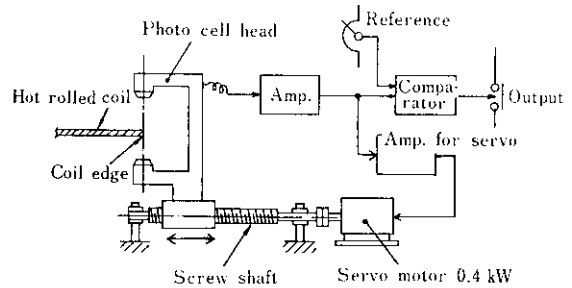


Fig. 9 Edge shape detector

5. 結 言

ライン速度 40m/min の速度でのホットコイルエッジ部研削によるミクロクラックの除去という課題は、砥石使用法の検討、砥石ヘッドの軽量化、緩衝および研削圧力付与用バネの採用にはじまり砥石の熱歪割れ防止、段付検出法、等の解決で開発が進み、実用化に至った。

このエッジ研削装置の開発、採用により、フェライト系ステンレス鋼、SUS430 鋼のエッジ研削材が増加し、冷延後のスキンパス歩留りが 3% 向上した。今後さらに対象鋼種を拡大すべく実験、検討中である。

本装置に関して特許¹⁰⁾、実用新案¹¹⁾が公開されている。

最後に、この開発を行なうにあたって、ご協力いただいた、クレノートン(株)の諸氏に対して心から感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) 山本利雄ほか：三菱電機技報，46，(1972) 11，1340-1346
- 2) 磯崎明ほか：グラインダ安全必携，労働省安全衛生部安全課編，(1972)，1-183 (中央労働災害防止協会)
- 3) G.Stetiu & G.K.Lal："Wear of Grinding Wheel." 30 (1974)，229-236
- 4) S.K.Bhattacharyya and V.L.Moffatt：(haracteristics of Micro Wheel Wear in Grinding, Int.J.Mach.

Tool.Des.Res.Vol.16 (1976), 325

- 5) 貴志浩三：難削機の研削加工，精密機械，39 (1973) 2, 178-185
- 6) 岡田昭二郎：研削砥石の性質と選び方，機械の研究，27 (1975) 12, 1475-1479
- 7) 松尾哲夫：重研削加工の最近の動向，機械と工具，20 (1976) 5, 61-68
- 8) Milton C.SHAW：“How to Estimate Grinding Forces and Power” Machinery (March, 1968), 85-87
- 9) 高沢孝哉：砥粒加工技術の現状と将来，日本機械学会誌，80 (1977) 704, 31-34
- 10) 川崎製鉄㈱：特開昭 53-113396
- 11) 川崎製鉄㈱：実開昭 54-162996