

生産効率向上を目指す長寿命オンライン ロール研削装置

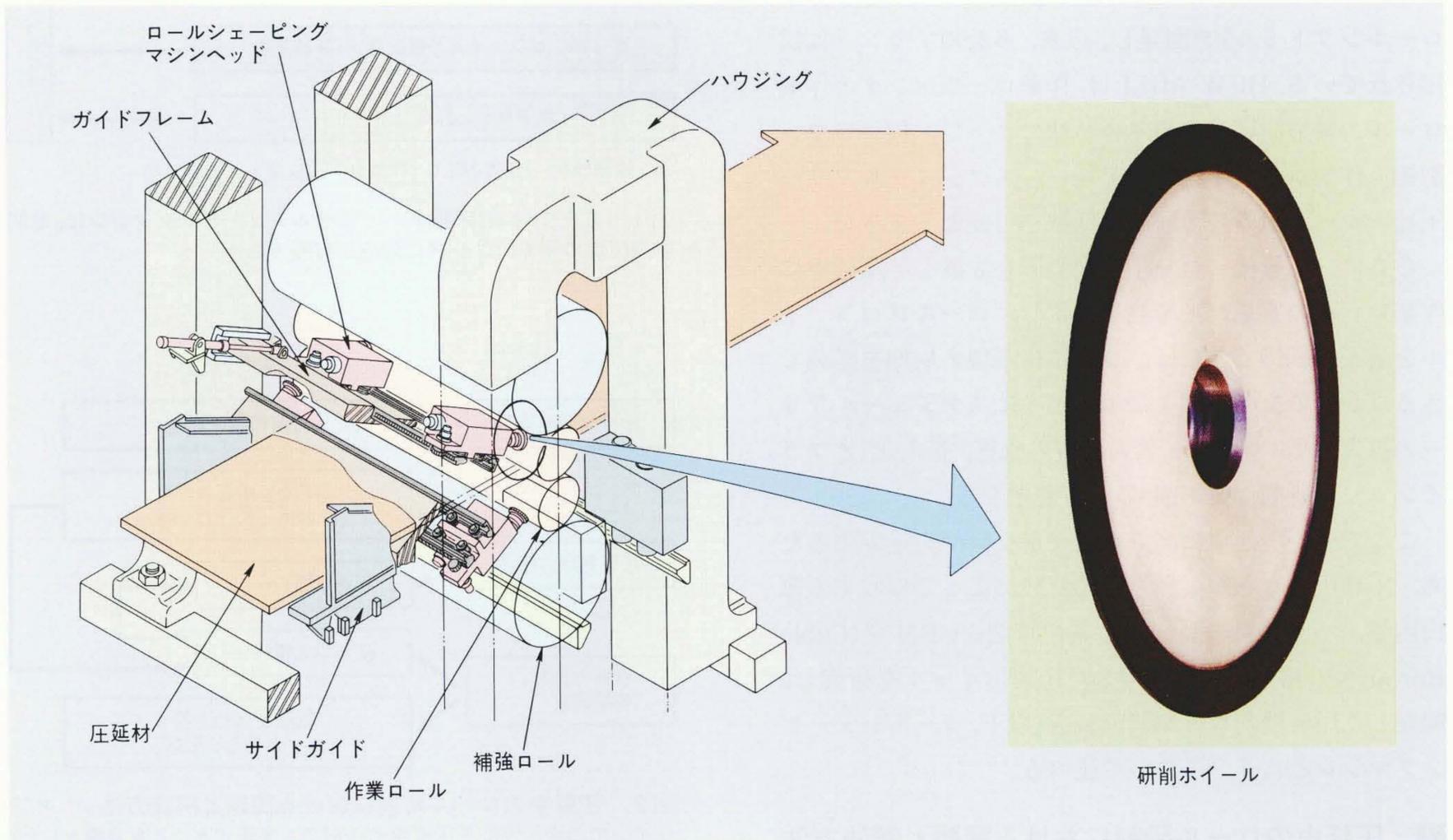
Roll Shaping Machine Improving the Productivity of Rolling Plants

芳村 泰嗣* Yasutsugu Yoshimura

近藤 繁俊* Shigetoshi Kondō

森 茂* Shigeru Mori

木ノ瀬 亮平** Ryōhei Kinose



ロール研削装置(ロールシェーピングマシン) 従来設備に設置可能なコンパクトな構造とした。アルミ薄肉円盤にCBN砥石を取り付けた平面型研削ホイールの開発により、高効率・安定研削を実現した。

熱間帯鋼圧延では、省エネルギー、製品品質の改善、および歩留り・生産性の向上が恒常的なニーズである。対応技術の一つとして、ロール研削装置を圧延機に設置して圧延中に研削する方法が提案されている。日立製作所は、圧延中研削に適する研削ホイールを研究し、圧延機の限られたスペースに設置可能なロール研削装置(以下、ロールシェーピングマシンと言う。)を開発した。

ロールシェーピングマシンは、薄肉円盤にCBN

(Cubic Boron Nitride)砥石を取り付けた研削ホイールを用い、ハイス系を含む熱間圧延用ロールに対して、ロールの振動や油潤滑にかかわらず安定に研削が行える。また、研削能力、表面粗さおよび砥石寿命の諸特性に優れるだけでなく、専用のセンサを用いずにロールプロファイルが計測可能である。これらの特長により、従来実用化されている圧延機内ロール研削装置での問題点を解消した。

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 機電事業部

1 はじめに

熱間帯鋼圧延で、製品品質の改善、省エネルギーおよび歩留り・生産性の向上を図るためには、板クラウン・形状制御能力の拡大、スケジュールフリー圧延^{※1)}、ロール組み替え回数の低減が不可欠である。日立製作所はこれらへの対応技術として、昭和57年にHCW-MILL(作業ロールシフトミル)を開発し、以来、多数のプラントに採用されている。HCW-MILLは、作業ロールベンダと作業ロールの軸方向移動の組み合わせによって、板クラウン制御、作業ロール摩耗分散を行い、スケジュールフリー圧延・ロール組み替え回数の低減を可能としてきた。

さらに、圧延機にロール研削装置を設置して圧延中に作業ロールの肌荒れ・摩耗を補正し、ロールプロファイルを適正に維持できれば、ロール組み替え周期を延長できるばかりでなく、**図1**に示すようにスケジュールフリーの拡大、板クラウン・表面品質の改善、省人化(オフラインロール研削作業の削減)が可能となる。

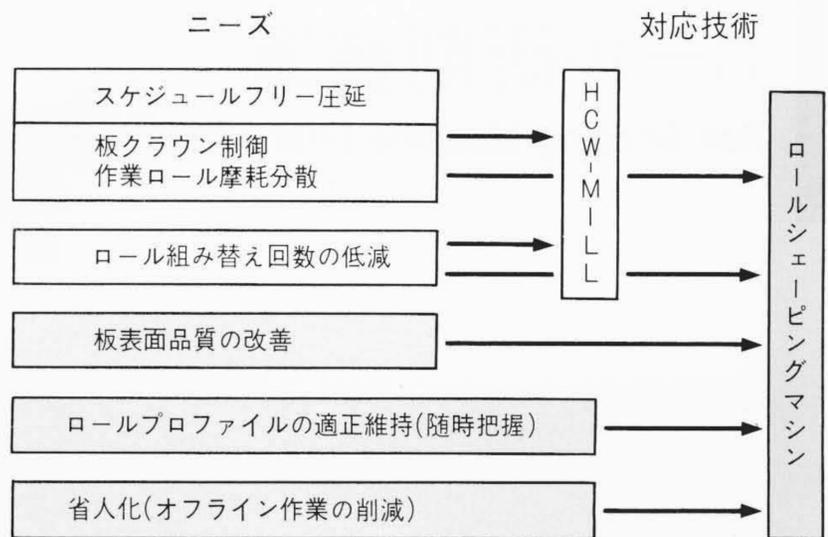
ここでは、圧延中に高効率・安定な研削を達成するため、圧延中のロール振動を弾性変形によって吸収する薄肉円盤、ハイス系のロールも研削可能なCBN^{※2)}(Cubic Boron Nitride)砥石を適用した研削ホイールを研究し、開発した圧延機内ロール研削装置(以下、ロールシェーピングマシンと言う。)について述べる。

2 圧延中のロール研削における課題と解決方法

圧延中のロール研削での課題と解決方法を**図2**に示す。圧延による通板部と非通板部との段差の除去のためには、十分な研削能力が必要である。研削に投入される仕事量を増やせば研削能力を上げることができる。すなわち、ロールに砥石を強く押し付け、高速で駆動すればよい。一方、押し付け力をいたずらに強くすると砥石の消耗を早めるので、その許容限界を高める必要がある。これには、砥石の曲率半径を大きくしてロールとの接触長を長くすることが有効と考えられるが、スペース上の制約から砥石径を大きくすることができない。平面型では砥石径にかかわらず曲率半径を無限大にできるので、

※1) スケジュールフリー圧延：鋼種・板幅などの圧延上の制約を緩和することで、省エネルギーに大きく貢献する上流工程との直結に不可欠な技術である。

※2) CBN：立方晶窒化ほう素、ほう素と窒素を高温・高圧で合成した結晶で、ダイヤモンドに次いで硬く、鉄鋼材料の研削に適する砥粒である。



注：略語説明 HCW-MILL (作業ロールシフトミル)

図1 ニーズと対応技術 ロールシェーピングマシンは、熱間帯鋼圧延の多くのニーズに対応が可能である。

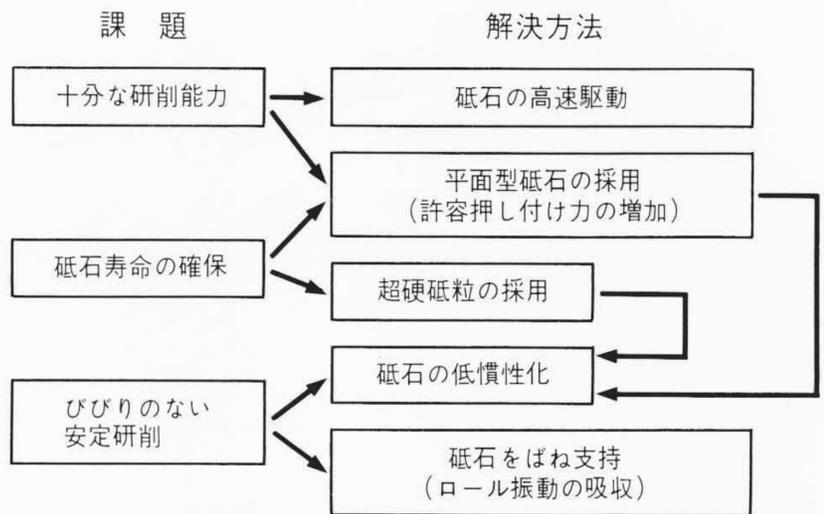


図2 圧延中のロール研削における課題と解決方法 オフラインでの研削性能を圧延中の研削でも実現することを目標とした。

これを採用した。

砥石交換のための圧延停止は、ロール組み替えと同様に生産性を阻害するので、砥石寿命は補強ロール組み替え周期よりも長くなければならない。砥石寿命は、砥石体積および砥石単位体積当たりの研削量(研削比)を大きくすれば長くなる。しかし、砥石体積を大きくすると質量が増大し、砥石とロール間の「びびり」現象^{※3)}を発生させる要因となるので、適正な大きさの選定が必要である。ロールシェーピングマシンは、この相反する性質を超硬砥粒CBNを採用して研削比を200以上と大きくすることによって解決した。

板表面品質は、ロール表面性状に依存する。ロール表面を一定の粗さ以下に均一にするためには、「びびり」の

※3) 「びびり」現象：何らかの原因で装置が振動し、研削状態が不安定になる現象を言う。

ない安定研削が必要である。圧延中研削ではロールが振動しており「びびり」が発生しやすく、従来の円筒砥石に代表される、柔軟性に乏しく質量の大きな砥石の場合、砥石を安定に密着させることが困難になっている。これは、ロールと砥石間には正常な押し付け力のほかに、外乱として振動加速度による慣性力・変位による反力が発生するからであり、慣性力は可動部の慣性質量を小さくすること、反力は砥石支持系のばね定数を小さくすることで低減できる。

3 ロールシェーピングマシンの特長

ロールシェーピングマシンの特長は、専用開発された研削ホイールによる高効率・安定研削と、ロールプロファイル計測機能を持っていることである。概略の構造を図3に示す。平面型研削ホイールをモータで高速駆動し、サーボモータでスクリーナットを介してロールに押し付ける。押し付け力は、研削ホイールの駆動軸の後端に設置されたロードセルによって検出できる。押し付け力および位置は、研削の精度を決定するポイントであるから、高精度・高分解能の検出器、すきまや摩擦のない構造が要求される。

3.1 高効率・安定研削

ロールシェーピングマシンの最大の特長は、薄肉円盤にCBN砥石を取り付けた平面型研削ホイールを持っていることである。CBN砥石は、在来アルミナ系、炭化けい素系に比べ格段に大きな研削比がとれるので、所望の砥石寿命確保に対して体積を小さくできる。薄肉円盤は、慣性質量 m およびばね定数 k が小さく、ロール振動の影響を小さくできる一方、固有振動数が高く圧延中の各種振動に追従可能である。この研削ホイールの開発によって、砥石の高速駆動とロールに対する安定密着が初めて両立し、高効率・安定研削が実現できた。

3.2 ロールプロファイル計測機能

ロールシェーピングマシンのもう一つの特長は、上記のような専用のセンサを用いずにロールプロファイルを計測できることである。ロールプロファイルは、図3に示す諸量を用いて次式で与えられる。

$$Z(x) = S(x) - F(x)/K$$

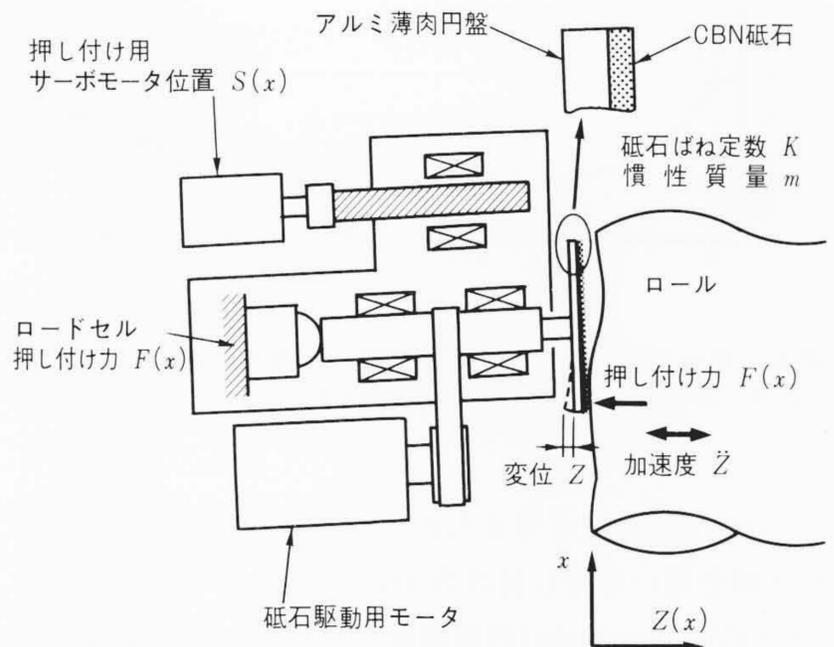
ここに、 x ：ロール長手方向座標

$Z(x)$ ：ロールプロファイル(mm)

$S(x)$ ：押し付け用サーボモータ位置(mm)

$F(x)$ ：押し付け力(N)

K ：ばね定数(N/mm)



注：略語説明 CBN (Cubic Boron Nitride；立方晶窒化ほう素)

図3 ロールシェーピングマシンの構造 CBN砥石採用による低慣性化と薄肉円盤の弾性によって、「びびり」のない高効率・安定研削を実現した。

1回の研削での砥石摩耗量とロール研削量は微小であるから、研削中に上記の諸量を検出すれば、圧延でのゲージメータ式板厚制御^{※4)}の原理を用いてロールプロファイルを求めることができる。実験機での計測例を図4に示す。計測プロファイルと実プロファイルとはよく一致している。

4 ロールシェーピングマシンの研削特性

ロールシェーピングマシンでは、基本特性として研削能力、研削比(砥石寿命)および表面粗さが重要である。各種の砥石に対して基礎実験を行い、要求される表面粗さに合わせて砥石を選択する必要がある。ここではCBN #120(数字は粒度を表す。)を用いて実験を行った結果を図5に示す。なおここでは、実圧延機のロール振動を模擬し、周波数35 Hz、片振幅10 μmの振動を加えている。

4.1 研削能力

研削能力は押し付け力にほぼ比例して増加しており、ロール長手方向に押し付け力を制御することにより、所望のプロファイルが得られることがわかる。熱間帯鋼圧延で要求される最大研削能力は、通常仕上げ圧延機後段に用いられるニッケル・グレンロールによる板幅の狭い特殊鋼材圧延を想定すると、1ロール当たり約 2.7×10^{-7}

※4) ゲージメータ式板厚制御：圧延機の出側板厚をロールギャップ、圧延荷重、圧延機のばね定数を用いて求め、板厚を制御する技術である。

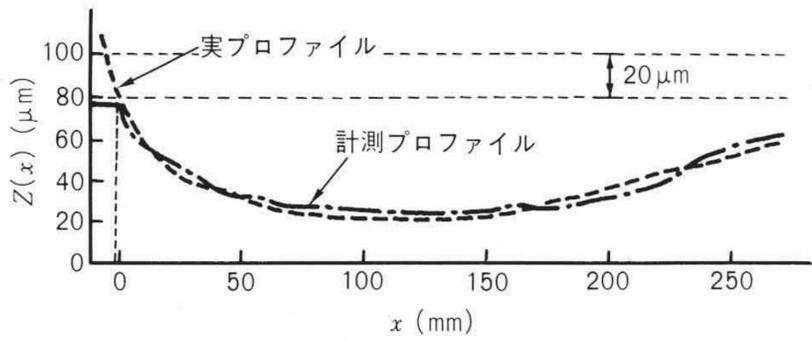


図4 ロールプロフィールの計測例 専用のセンサを用いずに、ロールプロフィールの計測が可能である。

m³/s(16 cc/min)と考えられる。実験では幅20 mmの砥石1個を用いて押し付け力300 N{30 kgf}で、約0.85×10⁻⁷m³/s(5 cc/min)の研削能力が得られた。実機では1ロール当たり2ヘッド、幅40 mmの砥石を採用すれば、4倍の1ロール当たり約3.4×10⁻⁷m³/s(20 cc/min)が研削可能であり、上記必要量を十分に満足する。また、ニッケル・グレンロールの約4倍の耐摩耗性を持つハイス系ロールに対しては、ニッケル・グレンロール研削時の $\frac{1}{3}$ 程度の研削能力を持つことを確認した。熱間帯鋼圧延では、ロール周速がスタンドや圧延材の寸法ごとに異なり、研削能力への影響が懸念されるが、ロールシェーピングマシンでは、砥石が高速で駆動されるためロール周速による研削能力の変化は見られず、広い分野への適用が可能である。

4.2 研削比

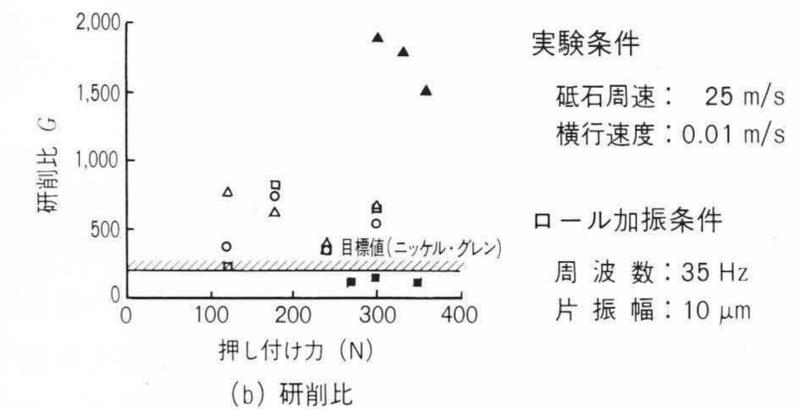
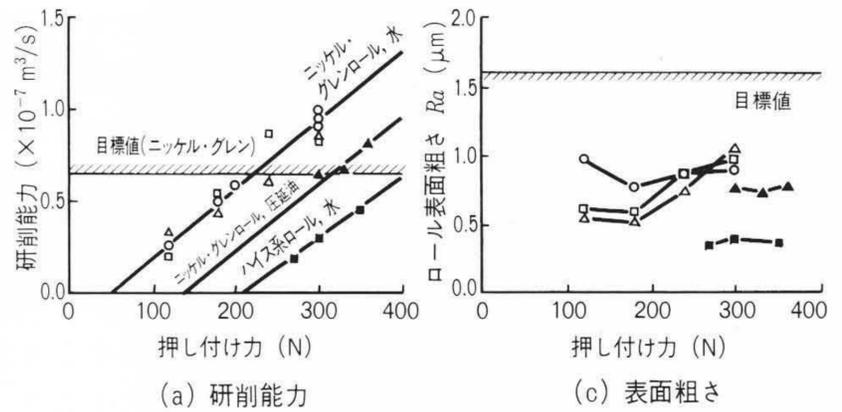
研削比とは、研削されたロール体積に対する消耗した砥石の体積の比で、大きいほど砥石寿命が長くなる。ロールシェーピングマシンは、砥石消耗量が微小なため図5(b)に示すようにデータにばらつきがあるが、CBN砥石を用いて適切な条件で研削することによって研削比200以上が確保された。1回の砥石交換で1ロール当たり5.28×10⁻²m³(52,800 cc)が研削可能である。通常、1コイル当たり4.0×10⁻⁶m³(4 cc)/ロールを研削すると仮定すると、13,200コイルの間、砥石交換が不要である。

4.3 表面粗さ

表面粗さは、押し付け力の増加に伴い、砥粒がロールに深く食い込むことによって大きくなる傾向が見られた。一般に、粒度を細かくすると粗さは改善されるが、研削能力は低下するので、適正な粒度選択が必要である。CBN #120では、高押し付け力でも平均粗さRaを1.6 μm以下とすることができた。

4.4 圧延油の影響と目づまり

実操業では、圧延油による潤滑が行われる場合がある。5%の熱間帯鋼圧延油を使用した実験では、水潤滑に比べて



記号	ロール周速	ロール材質、硬度	冷却液
□	5 m/s	ニッケル・グレン, Hs78°	水
△	10 m/s	ニッケル・グレン, Hs78°	水
○	15 m/s	ニッケル・グレン, Hs78°	水
■	5 m/s	ハイス系, Hs81°	水
▲	10 m/s	ニッケル・グレン, Hs78°	圧延油(5%)

注：研削比 $G = \frac{\text{研削されたロール体積}}{\text{消耗した砥石体積}}$
Ra (平均粗さ)

図5 研削特性 ロールシェーピングマシンは十分な研削能力・砥石寿命を持っており、ロール組み替え回数を減少させ、生産性向上を図ることができる。

研削能力が25%程度低下するが、研削比は2倍以上に向上した。したがって、研削能力の低下分を押し付け力を大きくして補っても、砥石寿命に支障がないと考えられる。

ロールシェーピングマシンは、砥石のドレッシングが困難なので、研削によって砥粒が適度に脱落し研削性能が維持されなければならない。砥石の結合剤の適切な選択によって、ドレッシングせずの一つの砥石で約0.02 m³(20,000 cc)を連続に研削することができた。

5 おわりに

ロールシェーピングマシンは、専用開発された研削ホイールの高速駆動によって研削能力・砥石寿命・表面粗さの諸特性に優れるとともに、ロールプロフィール計測機能を持っていることが実験によって確認された。

今後、実機での特性を把握し、製品の完成度を高め、熱間帯鋼圧延での生産性・品質向上に貢献していきたい。