

高品位ねじ転造ダイスを低コストで製造

－メーゲレ高能率研削盤による同時4軸制御のクリープフィード－

メーゲレ社

Mr. Beat Schweizer (ベアト, シュバイツァー)

1. はじめに

日本のものづくりは優れた技術力のもと、改善を重ねることで品質の高い製品を生み出してきた。現場の生産技術や職人が改善の役割を担い、欧州でも「日本はものづくりの国」と評されている。しかしながら、グローバル競争の激化やデジタル化が進展する近年、商品サイクルがこれまで以上に短くなっており、日本のものづくりも例外なく変化が求められる状況に接している。

組織、個人を取り巻くビジネス環境が変化し、将来の予測が困難になっている中、いかに商品に優位性を持たせ、組織を存続させていけるかが問われている。昨今の取り巻く環境の激しさが増す時代を乗り切るメーゲレの革新的な研削ソリューションについて記述する。

2. スイス メーゲレ高能率研削盤

スイス・チューリッヒ国際空港から車で30分のところにメーゲレ社がある。同社は、1929年の創業以来、3シフトの生産体制の中～大型ワーク向け量産高能率研削システムの研究開発に精力的に取り組んでいる。

メーゲレ機の代名詞とも呼ばれる高能率研削の深切込み低速送りのクリープフィードは、国内外のユーザから「従来の加工方法と比べ、圧倒的に加工時間が短縮され、生産効率、さらには製造コストの改善が見られた」と評されている。特に、難削・高硬度材、多工程が必要な複雑形状、取り代の大きいワーク等、切削を中心とした既存の工法では、加工時間を要するアプリケーションにおいて本領を発揮する。

メーゲレ機は航空機や重電のタービン部品、自動車やメカトロニクス産業で使われる各種ラック・ギア、そして段ボール用コルゲートロール等の幅広い分野で活躍している(図1)。

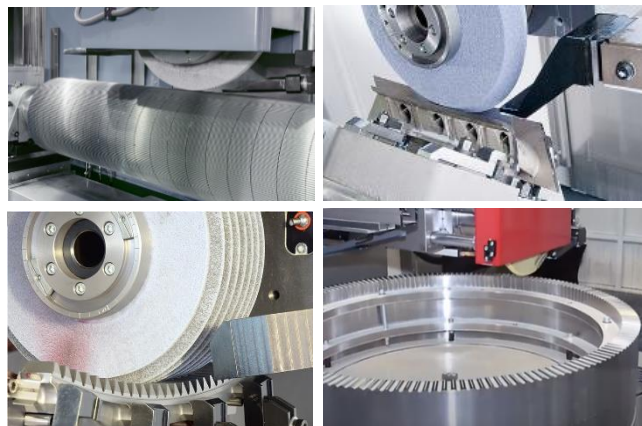


図1. メーゲレ高能率研削盤の加工事例

3. ねじ転造平ダイスの製造方法と課題

ねじの製造法は大きく分けて2種類ある。ダイス(図2)を押し付けて素材表面にねじ山を成形させる塑性加工である転造と、旋盤やマシニングセンタでねじを削り出す切削である。転造は切削と比べ、切りくずを生成しないため、材料を節約できることに加え、生産性も高い。切断されず、強い力で押し込まれた金属組織は、圧縮されることで高密度の表層を生み、加工硬化を起こし強度が増す。このことから、欧州では、転造が選ばれることが多い。

日本における一般的な平ダイスは、複数の平面研削盤による工程を経て製造されている。ワーク傾斜用のサインバイス付き平面研削盤に、クラッシングロールを搭載し、総形砥石で加工をする。しかし既存の工法では加工誤差、ダイス形状の柔軟性、製造コストにおいて課題を抱えている。

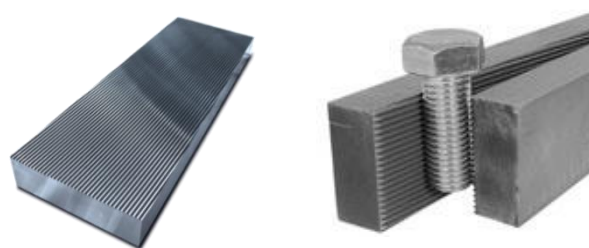


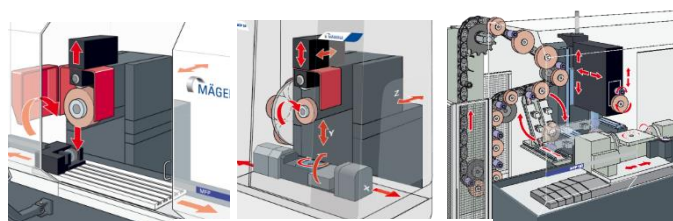
図2. ねじ転造平ダイス(左)、ねじ転造(右)

4. ダイス加工の課題を解決するメーゲレの機械性能

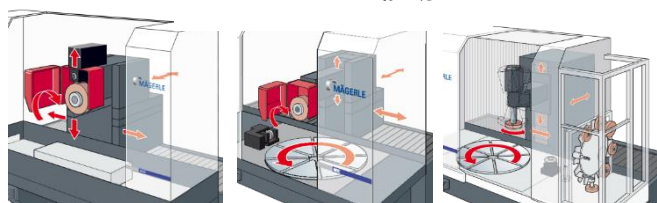
高出力研削スピンドルと高剛性の機体を活かし、アプリケーションに合わせて、モジュール型設計の機械(図3)を提案するのがメーゲレ機の特長である。ねじ転造平ダイスに適しているのは、直動3軸にテーブル旋回A軸を搭載した4軸制御の研削盤MFPシリーズ(図4)である。

ダイス加工に一般的に利用される汎用平面研削盤の多くが、研削出力10kW未満、最大砥石幅50mmの中、メーゲレ機の研削スピンドルの出力は75kW、最大砥石幅300mmの高い加工能力を持つ。対話式専用ソフトウェアを搭載し、4軸制御のクリープフィードでダイスをワンクランプ全加工する。

本稿では、既存の製造方法による加工誤差、ダイス形状の柔軟性、製造コストの課題に触れながら、メーゲレ機の特長について紹介する。



テーブル左右移動型



コラム3軸可動型

図3. モジュール型機械設計



図4. MFP-L 125

5. ダイスの加工誤差を抑制するメーゲレ機による研削

一般的なダイス製造方法である汎用平面研削盤での加工誤差要因は、2つ挙げることができる。まずは、クラッシングロールによる砥石成形時に生まれる誤差、そして、多工程による歯の位相誤差である。本機による加工であれば、加工誤差要因を抑制したダイスの製造が可能である。

5.1. クラッシングロールによる砥石成形の誤差

ねじ転造平ダイスは総形砥石により研削される。所要のプロファイルと同一形状のハイス製クラッシングロールを、砥石に押し付けて総形砥石が形成される(図5)。しかし、クラッシングロールによる成形は、研削スピンドルとクラッシングロール双方に大きな負荷をかけることになり、結果汎用平面研削盤では、研削ヘッドが傾く現象が度々生じる。主軸の傾きは総形砥石の誤差になり、ダイスに誤差を含む形状が転写されることになる。そのため、あらかじめ主軸の傾き分を考慮し、クラッシングロールを設計することが求められる。それでもダイスに許容できない誤差が生じる場合、後工程でダイスを上下反転させ、傾斜誤差分だけサインバイスで傾け、ダイスの底面を平面研削で修正する必要がある。クラッシングロールによる砥石成形時に生じる機械主軸の傾きは、安定した精密ダイス製造の妨げとなっている。

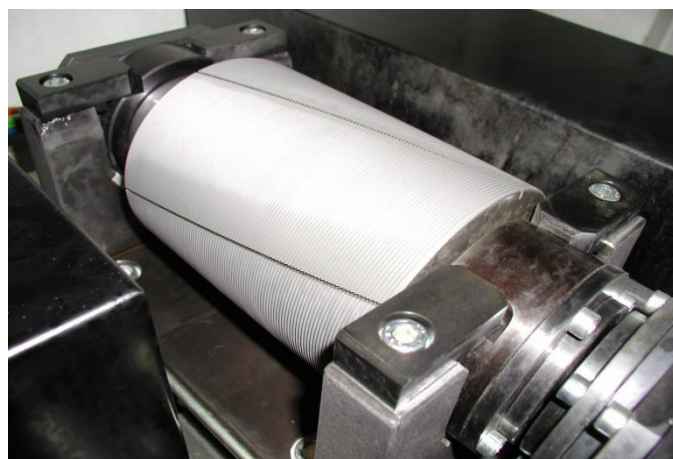


図5. クラッシングロール

5.1.1. 油静圧スライドが防ぐ砥石の成形誤差

一般的な軸受けは、機械的な接触面積を極力抑え、スライドの摩擦を低減しているため、剛性が得られにくい。一方、メーゲレが採用する油静圧スライドは、油膜の面当たりの軸受けであり、高負荷に耐える剛性を生んでいる。メーゲレ機でクラッシングロールを利用しているユーザは、主軸の倒れを考慮せず、図面通りのクラッシングロールを設計し使用している(図6)。

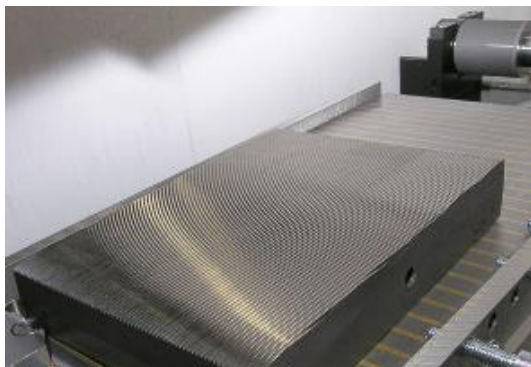


図6. ダイス(手前)とクラッシングロール(右奥)

メーゲレの特長の1つである静圧スライドは切込み(Y)及び長手(X)軸に組み込まれている(図7)。油静圧スライドは、加圧された潤滑油をすべり面に強制的に供給し、その油膜を常時制御している。この油膜が軸可動時の摩擦を抑制し、スティックスリップのない高い追従性と、優れた位置決め精度を長期間にわたり維持する。また、機械の主軸や研削で生じる振動吸収の役割を担っているのも、油静圧の油膜である。油膜が振動を抑え、安定した研削を実現し、クリープフィードにおける総形砥石形状の持続性をさらに高めている。

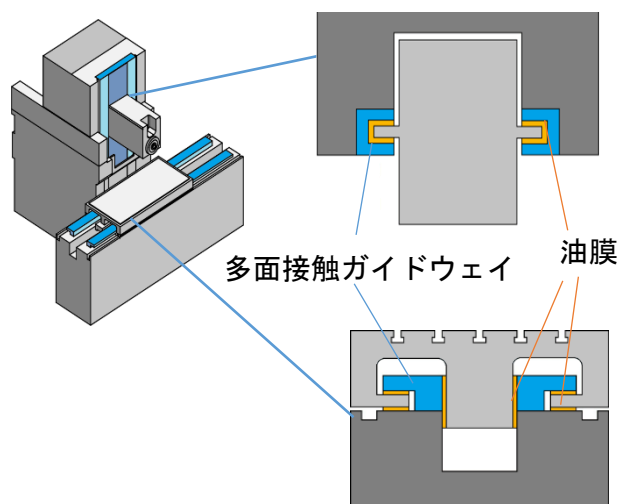


図7. メーゲレ機の油静圧スライド

5.2. 多工程のワーク着脱から生じる誤差

平ダイスは、被転造物に徐々に歯を押し込む食付き部、転造形状を形成する仕上げ部、そして被転造物をリリースする逃げ部から成る(図8)。日本では、食付き部、逃げ部をサインバイス仕様の汎用平面研削盤、仕上げ部を汎用平面研削盤で加工することが多い。つまり2種類の機械で、研削箇所ごとにワークを着脱し、加工していることになる。ワークの取付け段取りでは、歯の位相誤差を抑制するための調整が求められる。しかし、ワークの着脱により基準が変わるため、厳密には加工誤差の発生を避けることはできない。

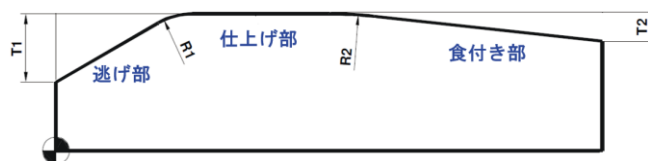


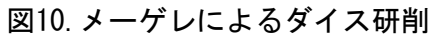
図8. 平ダイスの形状(断面)

5.2.1. ワンクランプ全加工が解決する位相誤差

メーゲレ機はXYZ直動3軸に加え、4番目の軸であるテーブル旋回A軸を搭載している(図9)。本機であれば、テーブル旋回のA軸を利用した、同時4軸制御のワンクランプのクリープフィード研削で加工を完了できる(図10)。ワンクランプ全加工により、ワーク原点が加工中維持されるため、ワーク着脱による精度劣化がなく、多工程で発生しうる歯の位相誤差が生まれない。



図9. 旋回テーブルA軸



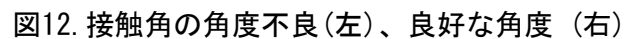
ダイス形状の自由度は、同時制御軸数とそれを活かす専用ソフトウェアで決まる。汎用平面研削盤とサインバイスによる最大同時2軸制御の従来の加工方法では、研削できる形状に限られるだけでなく、よっぱらい現象の問題も発生する。メーゲレ機であれば、旋回A軸を利用した同時4軸制御専用ソフトウェアで多様なダイス形状の加工に応えることができる。

汎用研削盤による食付き角、逃げ角は、サインバイスで角度を手動で割台し加工される。この場合の加工は同時2軸制御と手動の割り出しによるものであり、食付き部や逃げ部の多様な形状の加工は難しい。結果、ダイス形状の多くは、制御軸数の制限から鋭角な接続角、ストレートの逃げ形状となっている。

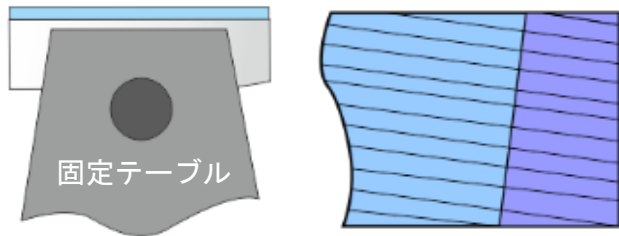
本機であれば、旋回A軸を加えた4軸制御と専用のソフトウェアの融合により、食付きと逃げ部に任意の形状を付けることができる。対話式の画面で、ストレート、R、ストレートとRの複合の3種から形状を選択し、諸元を入力することで、加工プログラムは自動で生成される(図11)。接続部を鋭角から鈍角、逃げ形状をRにすることで、歯を鈍くし、剛性を向上させ、摩耗を防ぎ、最初の1本目から最後の1本まで安定したネジ形状の転造が可能となる。汎用用途だけでなく、専門用途に応じたダ

図11. 3種の接続部形状パターン

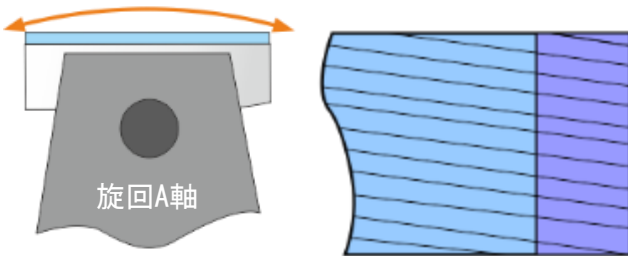
汎用平面研削盤による同時2軸制御の総形砥石の研削では、よっぱらい現象の問題が生じてしまう。食付き部と仕上げ部の接触角が90度の場合、ダイスに対し、90度が維持できないよっぱらいと呼ばれる角度不良(図12)が生まれる。ひと歯ごと研削することで、角度不良の問題を避けられるが生産性は極めて低くなる。角度不良がダイスにあることで、転造時にボルトが接続部を越えて軸方向に動く歩み現象が発生することがある。ボルトとねじ転造ダイスの間で摩擦が発生し、結果として形状不良のねじやダイスそのものの寿命低下をもたらしてしまう。



メーゲレのダイス専用ソフトウェアを用いると複雑なプログラム設定は不要で、これまで課題としてきたよっぱらい現象を解消できる(図13, 14)。日本ではこの現象の元になる角度不良のダイスが多い中、メーゲレ機は、角度不良がないダイスにより、ネジ形状の安定化とダイスの長寿命化を実現した。



A軸固定2軸制御による角度不良の形状



A軸を含む4軸制御による良好な角度の形状

図13. 制御軸数と不良角度の有無

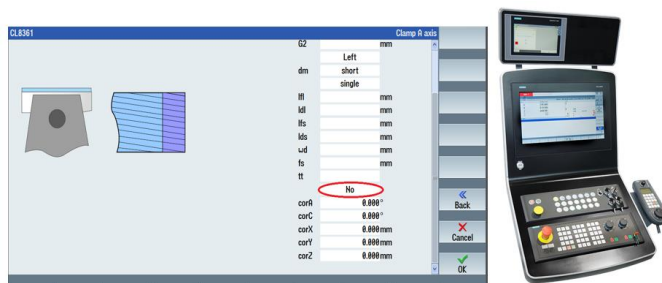


図14. 角度形状の選択が可能

7. メーゲレ機が実現するダイス製造コストの削減

単機能、多工程である既存のダイス製造では、多様な形状への自由度がなく、コスト削減も難しい。多工程を一工程にし、生産を担う機械が高い生産能力と多様なダイス形状に柔軟に対応できれば、コストを低減できる。

7.1 汎用研削盤によるダイス製造コスト

汎用平面研削盤とサインバイスを利用した製造方法は、複数の機械を利用する多工程になる。多工程は、工程ごとに精度管理が必要となり、工程間で加工不良も発生する。また、工程ごとに工具管理、中間在庫、作業員も必要になり、自動化も難しくなる。グローバル化により製造コスト競争が激しくなる中、既存の方法では、劇的に製造コストを削減することは難しい。

7.1.1. 多品種一品生産を一台で担いコスト削減に貢献

ワーク1個当たりの単価を計算するにあたり、段取り時間の他にサイクルタイムが大きな割合を占める。研削出力が10kW未満、最大砥石幅50mmの汎用平面研削盤が多い中、メーゲレ機はスピンドル出力75kW、最大砥石幅300mmを誇る。砥石幅が300mmと広いことで、奥行きがある平ダイスにも効率的な研削に対応し、ワンクランプの同時4軸制御のクリープフィードにより、汎用平面研削盤の加工と比べ、1/6にサイクルタイムを短縮できる(図15)。汎用平面研削盤の場合、複数の機械で、それぞれ数百回にわたる研削パスをすることで最終的にダイスの歯を加工する。メーゲレ機のクリープフィードを用いると、ワンパスで数ミリメートルの取り代を研削することが可能である。粗加工時に2回、仕上げ加工時に1回の計3回のパスのワンクランプで加工を終える。汎用平面研削盤で60分要すダイスを、メーゲレ機では僅か9分で加工をした事例がある(図16)。複数の汎用平面研削盤を1台に置き換えることで、自動化も容易になる。本機のワンクランプ全加工により、工程管理、中間在庫、所要床面積、作業員、そして製造コストを劇的に削減できる可能性がある。

サイクルタイム比較表(分)

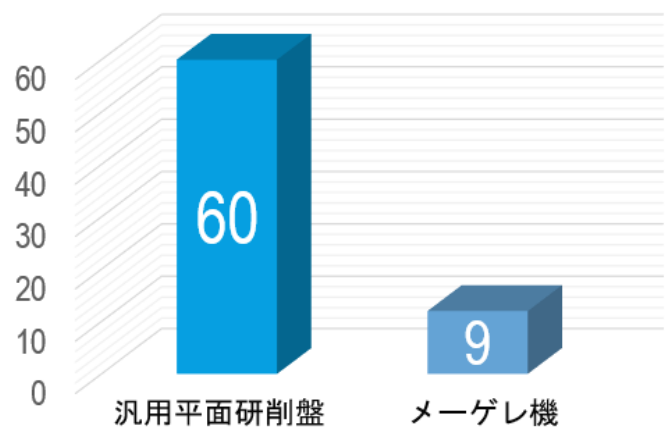


図15. 加工事例

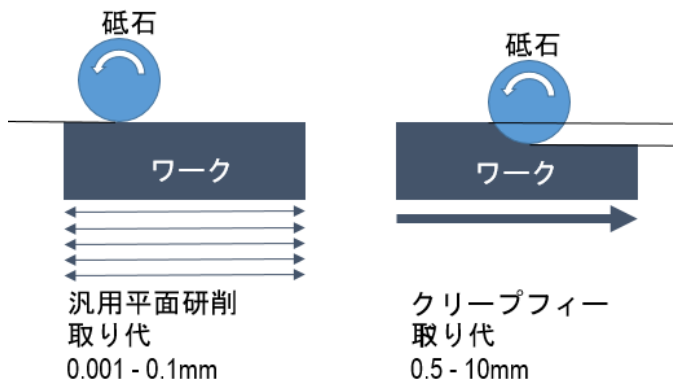


図16. 研削方法の比較

8. おわりに

日本のものづくり企業は成長戦略だけでなく、変化に柔軟に対応し、生き抜く生存戦略が求められる。コロナ禍のように半強制的に日常が変わり、行動の変更を余儀なくされたとしても、長く続けば習慣化され、その習慣から新たなニーズが生まれる。自社の優位性を高めるために、従来通りの製造工法を続けるか、それとも最新の加工技術に挑戦するか判断が求められている。

日本国内においても、他社との差別化を図り、メーゲレ機を導入し、既存の製造方法を革新的に変えた転造ダイスメーカーがある。加工精度、ダイス形状の柔軟性、製造コストの視点で、メーゲレ機のパフォーマンスが高く評価されている。国内のねじ転造ダイスの課題に対し、メーゲレ機の圧倒的な加工性能で応え、総代理店のYKTと共に日本のものづくりに貢献していきたい。

メーゲレホームページ（日本語）：

[www.grinding.ch/jp/当社の製品
/filter///MÄGERLE/true/](http://www.grinding.ch/jp/当社の製品/filter///MÄGERLE/true/)

