

高精度・高能率な歯車加工を実現する スーパースカイビング盤 MSS300 の開発

Realization of High-precision and High-Efficiency Gear Cutting Method
Development of Super Skiving Machine MSS300



菊池 寿真*¹
Toshimasa Kikuchi

能勢 喜博*²
Yoshihiro Nose

薄出 淳二*³
Junji Usude

吉川 啓祐*¹
Keisuke Yoshikawa

千原 悠*¹
Yu Chihara

近年、自動車産業においてはトランスミッションの出荷台数が増加傾向にあることや、AT(Automatic Transmission)の多段化などにより、歯車をより高能率に加工したいというニーズが高まっている。これは自動車に限らず建設機械や各種減速機メーカーなど業界全体へ広がりを見せている。そこで最近特に注目されているのが内歯車を中心とした“スカイビング加工”であり、当社でもスカイビング加工に最適な機械剛性と制御技術を兼ね備えたスーパースカイビング盤 MSS300 を開発した。また当社ではスカイビング加工で問題となりやすい工具寿命に有利なスーパースカイビングカッタの開発も行っており、スカイビング加工における“歯車加工システム”として以下に紹介をする。

1. はじめに

スカイビング加工の歴史は古く、100 年以上前に発明された歯車の加工方法の一つである。しかしながら機械剛性や制御技術、工具寿命といったスカイビング加工に必要な要件が十分満足できなかったため、実際の生産現場に定着することが難しかった。

近年、工作機械におけるNC技術の向上や、コーティングなど工具製造技術の向上などから再びスカイビング加工が注目され、多くの工作機械メーカーが加工機や工具の開発に取り組んでいる。当社でも以下の三つの柱からなる“スーパースカイビングシステム”の開発を行っている。

- (1) 機械剛性と同期精度に優れたスカイビング専用機の開発
- (2) 圧倒的な工具寿命をもたらすスーパースカイビングカッタの開発
- (3) スカイビング専用の切削シミュレーションソフトの開発

本稿では開発したスーパースカイビング盤 MSS300 について、機械の仕様や主要な構造、実際の加工事例などを中心に紹介する。

2. スカイビング加工について

まず内歯車の加工を例に説明する。図1に示すように、スカイビング加工は熱処理前のいわゆる“荒切り”工法の一つに当てはまる。従来はギヤシェーパやブローチ加工が主流であったが、近年ではスカイビング加工が注目されている。

次にそれぞれの加工法について説明する。図2に加工法とそれに用いる工具の種類を示す。スカイビング加工では一般的にピニオンカッタが用いられる。当社のスーパースカイビング盤では

*1 三菱重工工作機械(株)歯車加工システム技術部

*2 三菱重工工作機械(株)歯車加工システム技術部 課長

*3 三菱重工工作機械(株)歯車加工システム技術部 主席技師

ピニオンカッタはもちろんのこと、後述するオリジナルのスーパースカイピングカッタどちらも使用することが可能であり、ユーザは加工するワークの形状などに応じて自由に使い分けることができる。

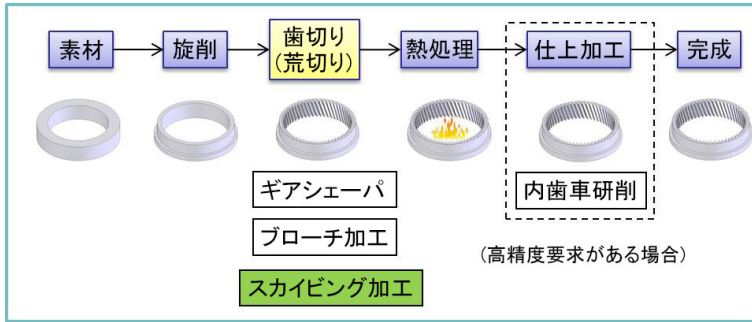


図1 内歯車の製造工程

加工法	ギヤシェーパー 	ブローチ 	ピニオン スカイピング 	スーパー スカイピング
工具	ピニオンカッタ 	ヘリカル ブローチ 	ピニオンカッタ 	ピニオンカッタ スーパー スカイピングカッタ

図2 内歯車の歯切加工法

ギヤシェーパー加工は段付きギヤを加工する場合、最小の抜け代で加工することができるなど、被削物の形状に対してほとんど制約を受けない。しかしながら工具の上下往復運動における往路のみで切粉を出すことから、加工能率が悪く生産性が低い。

ブローチ加工は量産型の加工法であり、生産性には優れるものの、設備・工具ともに初期費用が高く、加工精度の調整が難しい加工法である。

スカイピング加工はギヤシェーパー、ブローチよりも加工精度は高く、ギヤシェーパーに比べて3～5倍程度の高い生産性を実現できる。またクラウニングやテーパなど特殊な歯すじの加工が可能である。一番の課題は工具寿命が短いことにある。

次にスカイピング加工の加工原理を図3に示す。スカイピング加工とは工具軸とワーク軸に軸交差角を設けて取り付け、両者を回転することで接触点に生じるすべりを用いて歯車を加工する方法である。

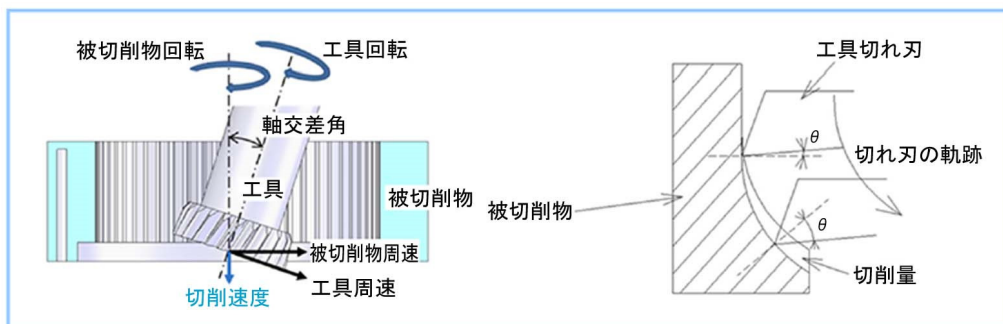


図3 スカイピングの加工原理

工具軸とワーク軸にダイレクトドライブモータを用いることで高い同期精度が実現できることや、工具とワークが連続的にかみ合いながら加工することで、工具の歯形精度がワークの歯形精度に高い精度で転写されやすいことなどから、加工精度はISO4～5級と高精度な加工が可能である。しかし図3に示すとおり、加工中の工具のすくい面と被削物の加工面がなす角度 θ が大きな負となるため、切削抵抗や工具刃先の発熱が大きくなり工具寿命が短くなるという問題を抱えている。

3. スーパースカイビング

現在、スカイビング加工においてはピニオンカッタを用いたピニオンスカイビングが主流であるが、依然として工具寿命が問題となるケースが少なくない。

そこで当社は世界に先駆けてスーパースカイビングカッタを開発した。⁽¹⁾

まず始めに当社の内歯車研削盤 ZI20A で開発した樽形砥石に着目した。ZI20A では切削のすべり速度を上げて高能率に加工を行うため、大きな軸交差角を取っている。その際砥石は被削物である内歯車との干渉を避けるために外形は樽形を成している(図4(a))。⁽²⁾ この樽形砥石に切れ刃溝と逃げ角を追加して多刃の切削工具としたものがスーパースカイビングカッタである(図4(b))。さらにスーパースカイビングでは外形をテーパ形状にすることで全ての切れ刃を切削に関与させ、工具磨耗を分散させることが可能となった(図4(c))。これによりスカイビング加工で問題とされていた工具寿命について長寿命化が期待できるようになった。

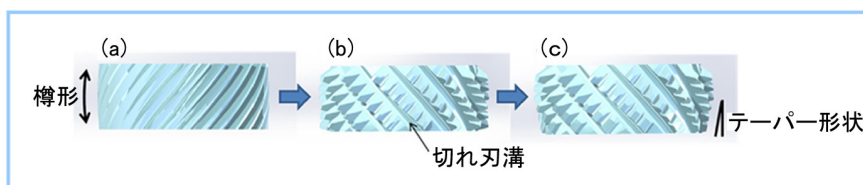


図4 樽形砥石とスーパースカイビングカッタ

4. 機械の開発

今回はスーパースカイビングカッタの性能を引き出すため、重切削加工に十分対応可能な高い剛性の機械であること、尚且つ高い位置決め精度を有する機械であることを主な開発のコンセプトとした。当社が開発したスーパースカイビング盤 MSS300 の主要な仕様を表1に示す。

表1 機械仕様

No.	項目	仕様	No.	項目	仕様
1	最大ワーク径 (mm)	300	4	テーブル軸最高回転数 (min ⁻¹)	3000
2	最大加工モジュール	4.0	5	最大軸交差角 (deg)	±30
3	主軸最高回転数 (min ⁻¹)	6000	6	主軸モータ (kW)	33

4.1 ベッド

X軸(加工中の切り込み方向送り軸)には振動減衰性、剛性に優れたすべり案内面を採用した。すべり案内でありながらも優れた位置決め精度を確保しており、後述するクラウニングなど特殊な歯すじにおいても高精度な加工を実現している。

また高い生産性を求められるスカイビング加工では切粉の排出方法も重要な要素であり、本機ではセンタートラフ構造を採用した。これにより切粉は加工点の直下から直接チップコンベアに搬出されるため、ベッドの熱変形を極限まで抑制することができ、寸法変化の少ない安定した加工を実現している(図5)。

4.2 コラム, サドル

コラム, サドルは左右対称に近い形状をしており、熱の流れや力の流れを考えたバランスの取れた構造となっている。特にZ軸(加工中のワーク歯すじ方向送り)は従来のボールねじと油圧シリンダの組合せから油圧シリンダを廃止し、ツインボールねじ構造を採用した。

油圧シリンダはZ軸の移動体(サドルや主軸)の重量を均衡に保つために用いられるが、機械運転中は常時エネルギーをロスすることになる。油圧シリンダを廃止したことで省エネルギーにも貢献している。当然ながら送り系のバランスや剛性については従来に比べ格段にアップしている(図6)。

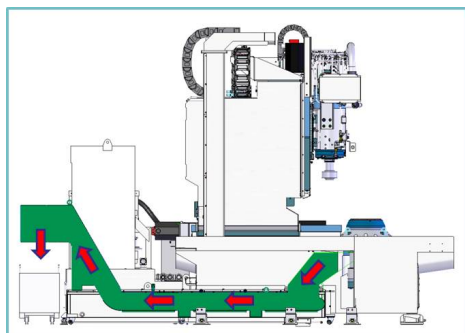


図5 センタートラフ構造

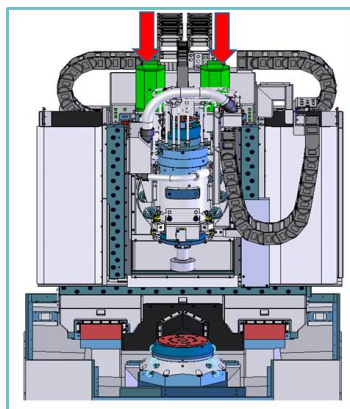


図6 歯すじ方向送り軸のタンデム制御

4.3 主軸, テーブル軸

本機では重切削加工を実現するため、工具軸とテーブル軸に高トルクの同期ビルトインモータを採用した。また高能率で高精度なスカイビング加工を実現するためには、工具軸とテーブル軸において正確な同期制御が必要となる。本機では当社の歯車研削盤で実績のある高精度のエンコーダを採用し高い精度の同期制御を実現している。さらに当社的高速マシニングセンタの技術を適用して主軸の軸芯冷却を行うことで主軸本体や前後のベアリングを冷却し、安定した高速回転を実現している(図7)。

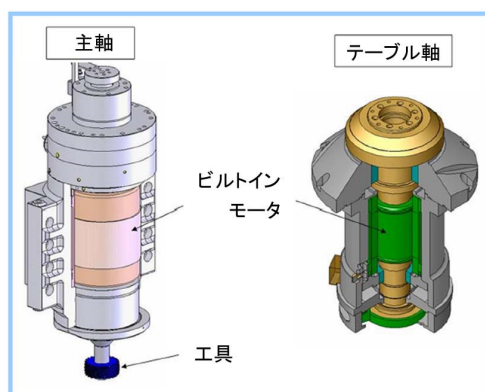


図7 主軸・テーブル軸構造

5. 加工事例

本機での加工事例を図8に示す。モジュール1, 歯数 100, ねじれ角 15° , 歯幅 25mm のリングギヤ(内歯車)をスーパースカイビングカッタ(図9)により 60 秒で加工した。加工精度は歯形精度で ISO3級, 歯すじ精度で ISO4級を満足している。

またモジュール 1.5, 歯数 70, ねじれ角 20° , 歯幅 35mm のワークをピニオンカッタでスカイビング加工した。特殊な歯すじ形状であるクラウニング加工(図10)やテーパ加工(図11)を行い、狙い通りの歯すじ形状を得た。

以上、高能率で高精度なスカイビング加工を実現することができた。

また工具寿命について、同上モジュール 1.5 のワークをスーパースカイビングカッタにて1回の刃付けで 700 個の加工ができたことから、ピニオンカッタに対して4倍程度の工具寿命を確認した。

なお 700 個加工後であっても工具の最大磨耗量は目標の範囲内であったため、最終目標である 1000 個の加工に向け継続して試験を行っている。

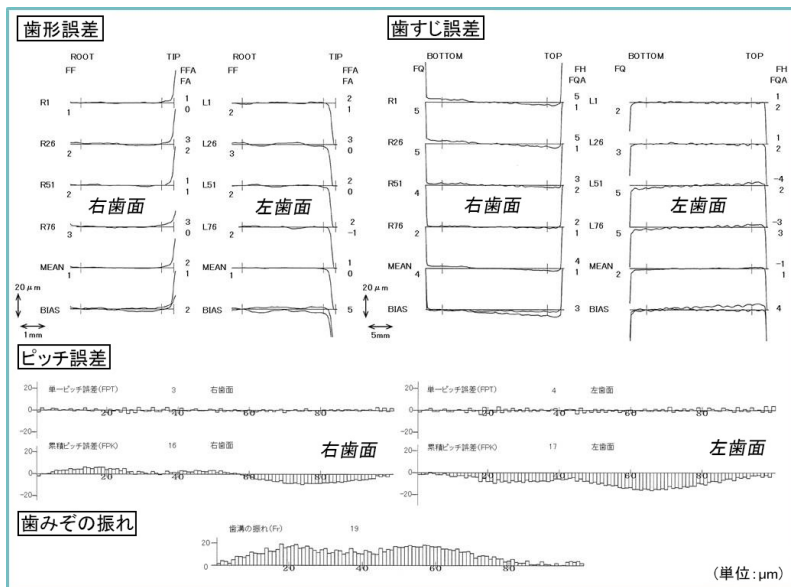


図8 加工事例



図9 スーパー
スカイビングカッタ

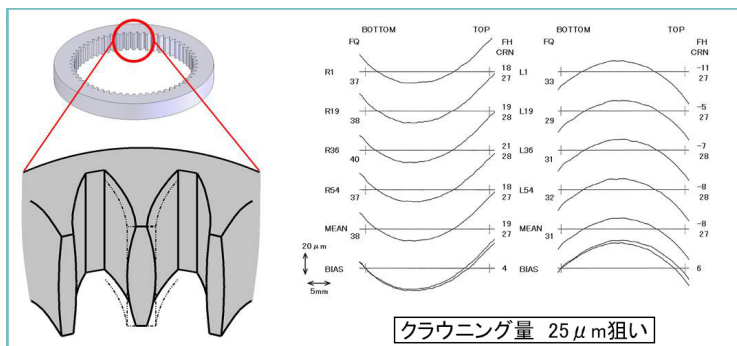


図10 クラウニング加工における歯すじ精度

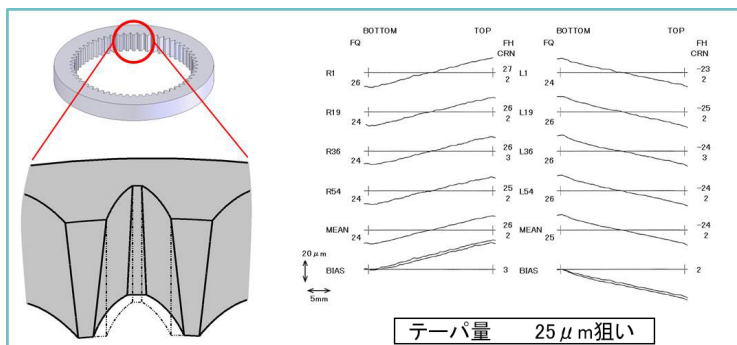


図11 テーパ加工における歯すじ精度

6. まとめ

歯車の高精度・高能率加工を実現するため、機械剛性と同期精度に優れたスーパースカイビング盤 MSS300 を開発した。実際に加工を行い所望の加工精度を得ることができた。機能面ではクラウニングやテーパといった特殊な歯すじの加工が可能であることを確認した。また機械のみではなく、スカイビング加工に最適な独自工具スーパースカイビングカッタを開発した。今後はスカイビング工具の更なる長寿命化、シミュレーションソフトの多機能化を図り、機械と工具のベストソリューションをお客様にご提案できるよう引き続き新技術の開発に取り組む所存である。

参考文献

- (1) 門田哲次ほか, 内歯車加工の長寿命化・高能率化の実現“三菱重工スーパースカイビングシステム”, 三菱重工技報 Vol.52 No.1(2015)p.103~107
- (2) 柳瀬吉言ほか, 世界初量産用内歯車研削盤 ZI20A の開発, 三菱重工技報 Vol.46 No.3 (2009) p.7~11