

独製工具での歯車加工

Nico Sauermann^{*1} 永岡 衛^{*2}

Paul Horn GmbH

(株) IZUSHI

自動車と腕時計、機械設備は歯車なしには存在し得なかった。歯車のない世の中は考えられない。一方で精密歯車の製造は、製造メーカーにとって簡単なものではない。歯車加工用工具の選択はモジュールサイズや生産量、保有設備を考慮する。さらに今日では複数軸の同期可能な設備を使用して従来、専用設備が必要だった歯車製造が可能となっている。

歯車の基本

ギヤおよびシャフトは内歯車か外歯車で区別される。さらに並行軸歯車と交差軸歯車で区別でき、並行軸歯車はスパークギヤ（平歯車）やストレートギヤ、ヘリンボーンギヤ（やまば歯車）、すぐば・スパイラルベベルギヤ（かさ歯車）などが、交差軸歯車は2軸が直角に交わるヘリカルギヤ（はすば歯車）、2軸がねじれ位置で交差するハイポイドギヤ、そのほかにウォームギヤなどがある。また、ラックギヤのような特殊なものもある。交差軸の配置によって、ギヤはローラ歯車とねじ歯車にさらに細分化される。

最も一般的な歯形はインボリュート歯形である。インボリュート歯車は、高速から低速、またはその逆の変速、および時計回りと反時計回りの回転に適している。比較的バックラッシュが少なく、製造が容易かつ安価である。次に重要なタイプは

サイクロイド歯形である。その利点は、低速から高速への変速時の摩擦が少なく、実現可能な変速比が大きいことである。ただし、このタイプの歯形は設計と製造の点で要求がより厳しくなる。いわゆる、ピニオンギヤは自転車やバイクの駆動に見られるような特殊な形状のチェーンドライブを除いて、もはや主要な役割を果たしていない。

歯車の歯の大きさを表す単位はモジュールである。歯車の1ピッチ（ p ）は当該歯車の基準円を歯数で割ったものである。アデンダムとデデンダム、歯元 R 、歯先面取り量などの数値はモジュールで指定する。モジュールサイズの標準化のため歯車の各種寸法は DIN780 に準拠している。第1系列では、モジュール $m0.05$ から $m60$ まで、第2系列ではモジュール $m0.055$ からモジュール $m70$ までとなっている。英単位系（インペリアルシステム）では、モジュールの代わりに“ダイヤメトラルピッチ（DP）”が使用される。歯車の機械加工法は、ホブ加工や成形加工、ピニオン加工、ギヤブローチング、ギヤスカイピング、5軸成形ミーリング、シェーピング加工などがある。

歯車製作方法として、専用加工工具を用いる方法以外では、研削やホーニング、ラッピング、放電加工、エッチングなどがある。産業機械や自動車産業での大型歯車加工には、主にホブ盤のような特殊に専用設計された工作機械が必要になる。これらの高価な投資は、大量生産の場合に有効だ。

^{*1} ニコ・ザウーマン：編集者／Horn-Straße 1, Tübingen, Germany

^{*2} ながおか まもる：HORN グループ プロダクトマネージャー／〒448-0807 愛知県刈谷市東刈谷町2-2-2／TEL：0566-62-8075



図1 HORN 社製ギヤスカイピング工具

少量で要求の厳しい高精度歯車は汎用 CNC 複合旋盤や CNC マシニングセンタ (MC) で、用途に応じた工具を使用して生産する考え方もある。

特殊形状に対応する方法

独 HORN 社の歯切り工具ラインナップ (図 1、図 2) には、モジュール m0.5 から m30 までのさまざまな歯車を製造できる幅広い工具がある。すぐば歯車や内外スプライン、ウォームギヤ、ベベルギヤ、ピニオンギヤ、または特殊形状などにも対応する。また、これらの歯車加工は前後工程のフライス加工、溝入れ加工、そのほかの工程まで含めて当社工具で生産することができる。歯切り工具の強みは、ギヤスカイピング工具のラインナップを見てほしい。ギヤスカイピングは 100 年以上前から知られていた。しかし、MC や完全に同期するスピンドル、最適なソフトウェアを備えた複合加工機が登場するようになって以来、非常に複雑な形状にも対応が可能になり、活用されるようになった。

HORN 製切削工具の活用事例

1928 年、Karl Neugart (カール・ノイガート) 氏は独シュヴァルツヴァルトで歯車部品の製造を開始した。それから約 100 年後、ノイガート社は精密歯車のトップサプライヤーとして知られるようになった。

「私たちは長い間、歯車のノウハウを開発してきた」と加工技術開発者の Christoph Wangler (クリストフ・ワングレー) 氏は言う。歯車部品の製造には、ほかの製造方法に加えて、ギヤスカイピ



図2 ギヤバリ取り工具 (歯車諸元を基に特殊対応)

ングを使用している。そのための最適な工具として HORN 製工具を活用している。HORN との密な関係は純粋にサプライヤーと顧客の関係から発展していった。

「創業者であるノイガート氏は、1920 年代末に機械装置や事務機用の歯車部品の製造を開始した」とワングレー氏は生い立ちを説明する。

現在では、遊星歯車機構や特殊歯車を開発・生産し、世界中に 750 人の従業員がいる。家族経営の同社は、それぞれの歯車部品を独バーデン州南部のキッペンハイムにある本社で製造している。1,400 万通り以上の製品構成が可能な遊星歯車機構や特殊歯車を製造する専門知識によって、年間約 45 万個の歯車を自動化機械や梱包機械、工作機械、食品機械などの産業分野に供給している。さらに、ノイガート社は食品および医療産業で使用される衛生的な遊星歯車機構を世界で初めて開発した。

サンギヤとプラネタリギヤ

遊星歯車機構では、円周上に均等に配置された複数のスパーギヤが、サンギヤとリングギヤの間を同心円状の軌道で動く。プラネタリギヤの回転は、太陽系の惑星の公転になぞらえることができる。このため、このような歯車は遊星歯車または遊星歯車機構とも呼ばれる。内歯車を組み込んだハウジングは、リングギヤと呼ばれる。ほとんどの場合、ハウジングは固定されている。駆動用のサンギヤはリングギヤの中心にあり、出力軸と同軸に配置されている。通常、モータ軸と機械的に接続できるように、与圧を掛けて接続されている。稼働中プラネットキャリアに取り付けられたプラ

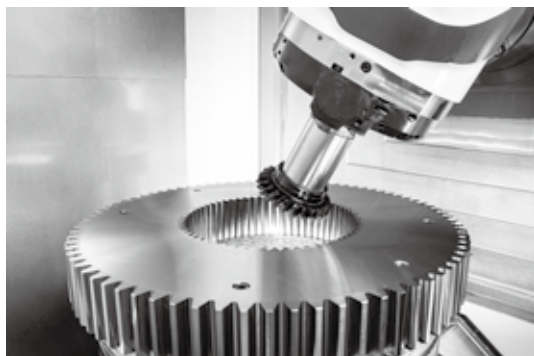


図3 ギヤスカイピング加工

ネットホイールは、サンギヤとリングギヤの間で回転する。また、プラネットキャリアはギヤ変速機の出力軸となる。プラネットホイールは必要なトルクを伝達する機能をもっている。歯数は変速機の変速比に影響を与えない。

特に精密な遊星歯車機構で使用されるリングギヤの内歯車はギヤスカイピングで製造している。「リングギヤのギヤスカイピング加工には HORN 製のスカイピング工具を独占的に使用している。その性能と精度には非常に感銘を受けた」とワングレー氏は説明する。ノイガート社は m0.5 から m2.0 までのモジュール範囲でギヤスカイピングを使用している。

「ギヤスカイピングについての緊密な協力関係は 4 年ほど前に始まった」と HORN 社の営業担当の Karl Schonhardt（カール・ションハルト）氏は言う。

現在、ノイガート社では 40 種類以上のスカイピング工具が使用されている。両社の設計部門は新しい工具の開発のために密接に連絡を取り合っている。工具のトライアルとスカイピング加工に適した切削条件の確認は、HORN 社のデモンストレーションセンターで行われる。

「これは、新しい工具を素早くお客様に体感いただけることを意味する」とションハルト氏は説明する。一方で、ノイガート社は新しく開発した工具の現場テストも実施している。

「私たちはギヤスカイピング加工における緊密な協力関係を非常に重要なものであると考えている。最適な加工結果を得るためには、まるでギヤ変速機のように連携が正確に行われる必要がある」（ションハルト氏）

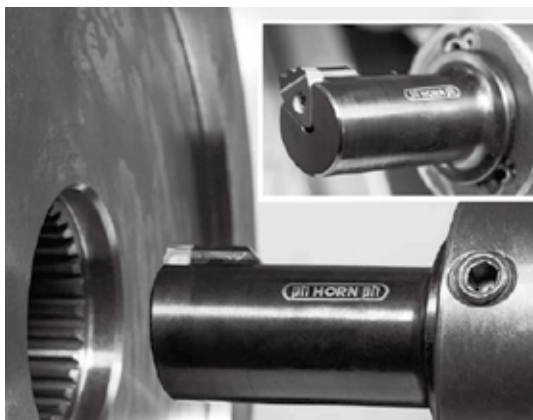


図4 ギヤブローチング

加工時間短縮と高精度化

ノイガート社はリングギヤのギヤスカイピング加工において DMG 森精機の工作機械を使用している（図3）。

「CTX beta 1250 TC はユーザーフレンドリーかつ柔軟性がある機械で、加工工程を確実に実行してくれる」とワングレー氏は説明する。ノイガード社はギヤスカイピング加工を導入する以前は、さまざまなギヤブローチ加工（図4）に頼っていた。ギヤスカイピング加工に変更することで、時間短縮やギヤ精度の向上など多くの利点が生まれた。特に、精密歯車機構用部品の生産ではより高い精度が重要な役割を果たした。

ギヤスカイピングの生産性

ギヤスカイピングでは内歯車やスプライン、その他の特殊歯形、ショルダギヤなど干渉物がある内・外歯車加工などを効率的に製造できる。ギヤスカイピングの最も重要な利点は、ギヤブローチング加工に比べて加工時間が大幅に短縮できること、最適な複合加工機、MC を用いて、ワンチャッキングでブランク材から旋削と歯切り、ぬすみ加工に至るまで完結させることができる点である。さらに、シェーピングやブローチング加工に比べて生産性が高く、費用対効果に優れていること、ブローチング加工に比べてサイクルタイムが 4～5 倍短いことも大きな利点である。また、焼入れ材を加工する可能性もある。ギヤスカイピング工具は中・大ロットの生産用に設計されてい

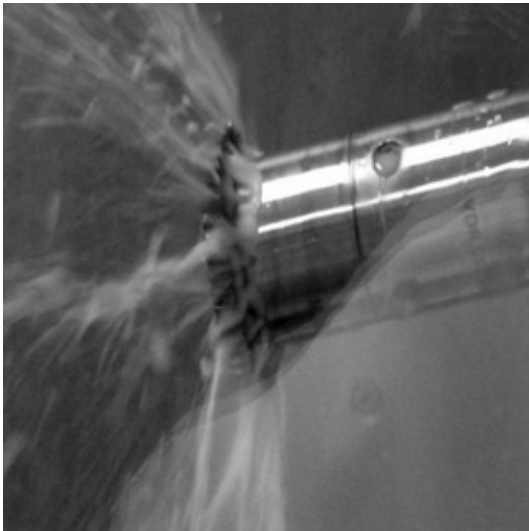


図5 歯先前方および後方からのクーラント供給

る。

各工具は用途や加工する被削材に合わせて設計され、歯数とモジュールサイズに応じてさまざまなシャンク形状に対応する。

特に内歯車加工では、HORN 製工具は大モジュールの加工時間を短縮できるなどのメリットがある。大モジュールのギヤスカイピング加工には、ワークと工具スピンドルの同期を可能にする、大型でかつ剛性の高い MC または複合加工機が必要である。モジュールが大きくなればなるほど、機械の剛性はより重要になる。左右フランク加工時の切削抵抗を分散させる工具を開発し、上記設備剛性確保の問題への解決策も提示した。また、小モジュール歯車用の小型スカイピング工具から得たノウハウを基に、大きなモジュールサイズの工具に対応してきた。それぞれのギヤスカイピング加工ではユーザーへの切削条件、ツールセッティングの提示の前に HORN 社内で技術スタッフによって実現可能性を評価している。

超硬ソリッドタイプと超硬歯先交換タイプ

HORN 社のギヤスカイピング工具ラインナップは、m0.2～m8.0 対応用として円筒型、円錐型の工具をラインナップしている。また、加工ワークのより高い面性状のため、最適な超硬素材とコーティングを採用している。超硬ソリッドタイプのシステム WSA は m0.2～m1.0 に対応し、カット径は最大 30mm で、主に小モジュールの小径

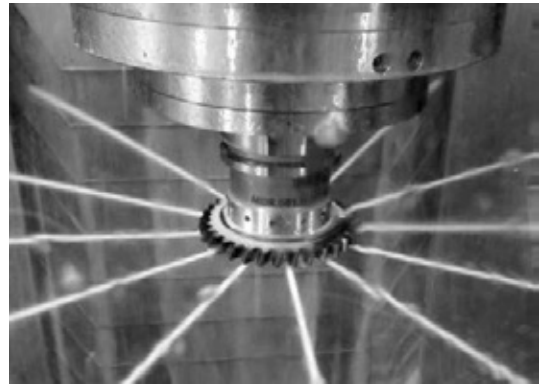


図6 歯先前方のすくい面側吐出ノズル(オプション)

部品加工を想定している。また、加工時の干渉回避のため、コンパクトなシャンクが必要な場合にも対応する。

カット径が 25mm を超える場合は超硬歯先交換式のシステム WSR をラインナップしている。このシステムは正確な歯先位置再現性を備えているため、機械内でツールホルダをスピンドルから外すことなく、インサートのみの交換作業が行える。ツールホルダは高い剛性を備え、インサート摩耗の最小化と精密な加工を実現している。より大きなモジュールの場合、刃先交換式インサートを取り付けたツールホルダを使用することになっている。特にシステム WSR では、クーラント吐出口を歯先後方もしくは前方のすくい面側吐出ノズルとして配置するオプションを用意している（図5、図6）。これにより加工物の形状に応じて止まり穴や貫通穴、段付き穴加工時でも適切なクーラント供給を可能としている。

