

## 小モジュール精密ギヤの高精度・高速加工を極めたアフォルター社の CNC ホブ盤 GEAR Line シリーズ

### 1. はじめに

動力や運動を伝達する機械要素の象徴である歯車は、自動車や航空機、工作機械をはじめ幅広い業界で用いられ、小型化や高硬度化、高精度化、複雑化、低振動化、低コスト化、変種変量化といった様々な市場ニーズへの対応が常に要求される。

昨今、急速に進む自動車のハイブリッド化やEV(電動)化によりエンジンがモータに置き換わったことで、減速機構から発生する歯車の騒音や振動が従来よりも注目されるようになった。低騒音、低振動などの静粛性に対する要求を満たすため、ギヤにはこれまで以上の高精度化が求められている。ロボット産業においても、労働者不足や新型コロナウイルス感染症拡大を背景に、現場の省人化・自動化が進められ、協働ロボットなどの関節部に用いられる減速機は需要増の傾向が続いている。減速機の小型軽量化や低振動化のために、ギヤは小型および小モジュール化が進み、高精度加工の必要性はますます高まっている。

歯車を高精度かつ安定して高能率加工する機械が求められる中、スイス・アフォルター社(Affolter Group SA)は時計用歯車の生産で長年培った加工技術を土台に、CNC ホブ盤の開発を行ってきた。特に近年では自動車業界における高速精密ギヤ加工への要望の高まりを受け、より多様なアプリケーションへの対応を進めている。

本稿では、独自の技術で小型・小モジュールギヤ加工にアプローチするアフォルター社の最先端ホブ盤 GEAR Line シリーズとその加工技術を様々な加工事例と共に紹介する。

### 2. アフォルター社

時計産業の地スイス・ビールから北東のバーゼル方面に進むこと車で約30分、山間部の街マルレ(Malleray)に位置するアフォルター社は、現在4世代目を迎えたファミリー企業である。1919年に創業し、スイスを代表する高級機械式時計メーカーへ歯車を供給してきたアフォルター社は歯車加工メーカーとして名高い。100年以上の歴史と実績を誇り、歯車を年間2千万個製造する一方、1999年よりCNCホブ盤の外販を始め現在に至る。アフォルター社は開発した精密CNCホブ盤を同社のギヤ生産部門で実際に使用し、改善を重ねていくことで機械の完成度を高めてきた。高速且つ研磨級のホブ加工が評価され、今日では時計向けの歯車だけでなく、医療器具や減速機、吊り具、自動車部品等に広く採用されている。

### 3. GEAR Line シリーズ

精巧な歯面を生む工具主軸とワーク主軸の高速同期回転技術を持つ GEAR Line シリーズ(図1)は、モジュール0.02~2、加工径<60mm、加工長<180mmのギヤの加工に対応する3機種を展開している。



図1: GEAR Line シリーズ外観 AF90 (左)、AF100 plus (中央)、AF160 (右)

### 3.1 AF90

AF90 は、平歯車の製造に機能を特化した CNC6 軸ホブ盤である。時計向け歯車加工用の機械式ホブ盤との置き換えを目指し、同じフットプリントに設計した。機械式から CNC 化への流れにも乗り、時計メーカーへの導入実績を伸ばしている。

### 3.2 AF100 plus

AF100 plus は、様々な種類のマイクロギヤに対応できる高い汎用性を持つ CNC8 軸ホブ盤であり、これまでの販売実績の多くを占める。様々なローダやオプションを組み合わせることで、多彩なアプリケーションに最適なソリューションを提供する。工具回転軸(A 軸)はワーク主軸と背面主軸の中心線を基準にして±30度まで旋回でき、A 軸を CNC にしたことでネジレ角や R が均一でない変則的なホブ加工が可能となっている。

### 3.3 AF160

最新機種 AF160 は、GEAR Line シリーズの中で最も用途の広いホブ盤で、前身モデルよりも加工能力を向上させ、最大モジュール 2 までに対応する仕様となっている。CNC8 軸を備え、最大外径 60mm、長さ 250mm のワークに対応し、自動車や航空機、ギヤボックス、医療機器、ロボットなどの多分野のアプリケーションにおいて優れた柔軟性を発揮する。AF160 の工具回転軸 (A 軸) の可動範囲は AF100 plus よりも広い±50度、オプションで最大-115度となっており(図 2)、ストレートギヤ、はすば歯車、ストレートベベルギヤ、フェースギヤ、ストレート・ヘリカルクラウンギヤ、ウォーム、ウォームホイールや内歯車を製造できるだけでなく、ウォームやシャフトのミーリング加工、スカイピング加工、面取りも可能である(図 3)。

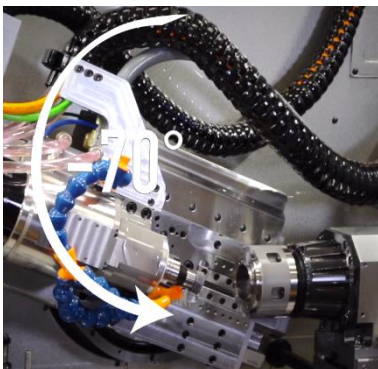


図 2：工具回転 A 軸-70 度で内歯車を加工

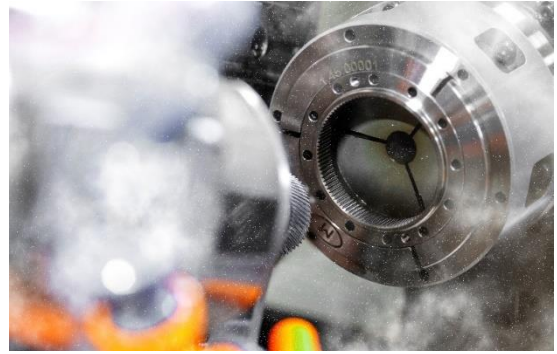


図 3：内歯車 (φ60x9mm、歯数 102) の加工

## 4. 高速精密ホブ加工を実現する独自技術

高速精密ホブ加工を追求した GEAR Line シリーズには、アフォルター社が独自に開発した機能が搭載されている。

### 4.1 小モジュールギヤの高精度・高速加工を叶えるアフォルター機の加工能力

#### 4.1.1 同期回転技術が達成する高速加工

一般的な小モジュール用ホブ盤がホブ軸回転数 3,000~6,000min<sup>-1</sup> であるのに対し、アフォルター機では最高同期回転数 16,000min<sup>-1</sup> に僅か 0.3 秒で到達する。ホブ盤の高速同期回転は加工時間を短縮させ、特に歯切りに時間を要す小モジュールのギヤの生産においては、高能率加工を実現する。また同期回転で重要なことは、同期精度の決め手となる分解能である。回転を同期させるための周期が細かいほど、より精度に優れたホブ加工が可能となる。一般的なホブ盤が汎用的なコントローラで、ミリ秒の間隔で同期制御をする中、アフォルター機は自社製のコントローラで 10,000 倍以上も細かいナノ秒レベルの間隔で同期回転を制御している。

#### 4.1.2 ダブル主軸同期回転が実現する高精度加工

一般的なホブ盤がワーク主軸+テールストックであるのに対し、アフォルター機は同期回転仕様の背面主軸の搭載が可能である。背面主軸の最大同期回転数は 12,000min<sup>-1</sup> で、ワーク主軸と同期回転することにより、ワーク左右のクランプが高速回転時であっても安定し、歯形誤差および歯すじ誤差で JIS 0-1 級の高精度加工を達成する。

#### 4.1.3 数値制御による変種変量生産への対応

ホブ盤では工具主軸とワーク主軸が同期回転することでギヤが加工される。ギヤの諸元に応じ工具軸とワーク主軸の異なる同期回転が必要なため、ギヤボックスの機械的な調整が必要となる。現在でもギヤボックスの組み換えで同期回転しているホブ盤がある中、アフォルター機は全機種数値制御を採用している。CNC による電氣的な同期制御はギヤボックスの段取り作業をなくし、変種変量生産への対応力を高めている。

#### 4.1.4 振動抑制による精巧な歯面

アフォルター機は、鋳物よりも熱変位に強く振動減衰性に優れるポリマーコンクリートを機体ベースに採用することで、連続生産における精度の安定性を確保している。また工具軸、ワーク主軸、背面主軸などの全ての回転軸にダイレクトモータスピンドルを搭載することで、ギヤボックスやブリーなどを介して回転を伝える旧来機と比較し、振動を最低限に抑え高い面精度を実現する。

### 4.2 ギヤ加工に付加価値を生む技術

#### 4.2.1 焼入れ鋼加工

小モジュールギヤの高精度加工への需要が高まる中、レーザを利用したハードホビングが有効なソリューションとして活躍している。ホブ加工した生材を焼入れ処理し、焼入れで生じた歪んだ歯面を、レーザで位相を合わせ、仕上げホブ加工をするのがハードホビングである（図4、加工事例1）。オプションとしてドライカット仕様も用意されており、コーティングされた超硬ホブによる焼入れ材の高速精密加工をサポートする。

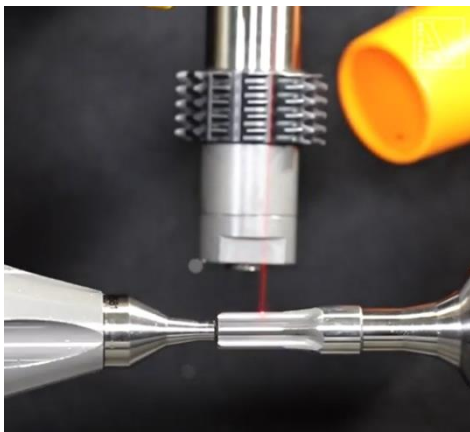


図4：レーザ位相検出



加工事例1：ピニオンギヤ

加工時間：24 秒

歯数：6

材質：ステンレススチール

径：φ6.45mm

モジュール：m0.75

長さ：23mm

#### 4.2.2 スカイピング加工

優れた機械剛性と同期精度に加え、CNC8 軸と工具旋回 A 軸のゆとりある可動範囲を持つ AF160 では、工具をワークに対し傾け、ワーク主軸と高速同期回転させ歯車加工を行う加工能率に優れたスカイピング加工も可能である（図5）。

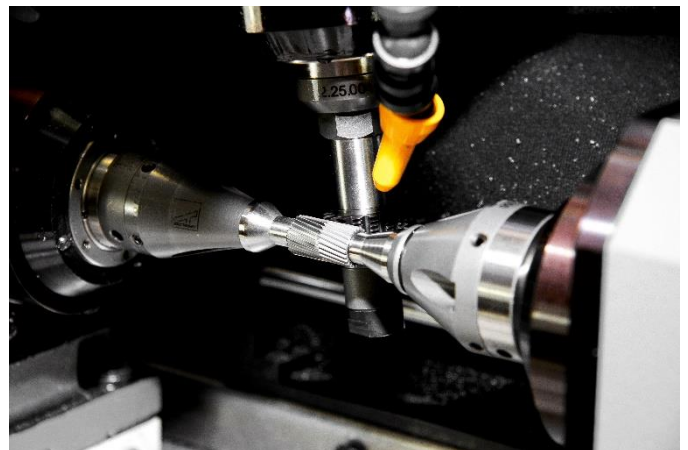


図5：ヘリカルギヤのスカイピング加工

#### 4.3 豊富な CNC 軸がもたらす唯一無二のバリ取り工法

発生したバリは通常ホブ加工後に、ギヤ側面に引っかかり傷が残るデバリング装置で取り除くか、ギヤの形状精度の劣化や切削エッジに損傷を受けやすいバレル研磨で取り除かれることが多い。本来であれば、ギヤ側面には傷を残さず、歯切り面にはエッジがたった切削面を残したい。特にモジュールが小さくなるほどバリ取りは手間を要するため、加工後にバリを残さないことが理想である。

CNC 軸数が豊富な AF シリーズでは、機械軸の動きによりバリ取りを行う X デバリング法や、カッターアーバに2つのホブカッターを装着しバリ取りを行うダブル

ホブデバリング法を提案している。その他、デバリング装置やエンドミルによるバリ取りも選択肢として用意されている。

#### 4.3.1 X デバリング法 (AF100 plus、AF160 のみ)

サイクルタイムは長くなるが、1つのホブカッターと機械軸の動きによりバリを取り除き、ワーク側面に傷を残さない点が評価されている。まずオペレーターに対し手前側 (X 軸のマイナス方向) にホブカッターを設置し、時計回りに回転させ切込みを入れていく (この時点ではバリが発生する)。次に工具回転 A 軸とワークの回転方向を逆転させ、ホブカッターをワークの後ろ (X 軸のプラス方向) に移動させた後、歯幅や軸方向の長さを形成しながら発生したバリごと歯切りをする。

#### 4.3.2 ダブルホブデバリング法 (図6)

汎用ホブ盤は工具軸上下の稼働距離の調整にマイクロメーターを使用してストップバーの位置決めを行うため、手間がかかり精度も安定しない。本機ではカッターアーバに2つのホブカッターを正転 (ホブ1)、反転 (ホブ2) 方向に装着し、まず反時計回りに回転するホブ1でワーク左を部分的に加工する (ここではバリが発生する)。その後工具軸 Y を移動させ、ホブを逆時計回りの回転にする。ホブ1で加工した同じ箇所にホブカッター2を持ってきて、発生したバリごと右の軸方向に歯切りし、バリを除去していく。この工法であれば、X デバリング法よりもサイクルタイムが短縮され、ワークにも傷が残らない。

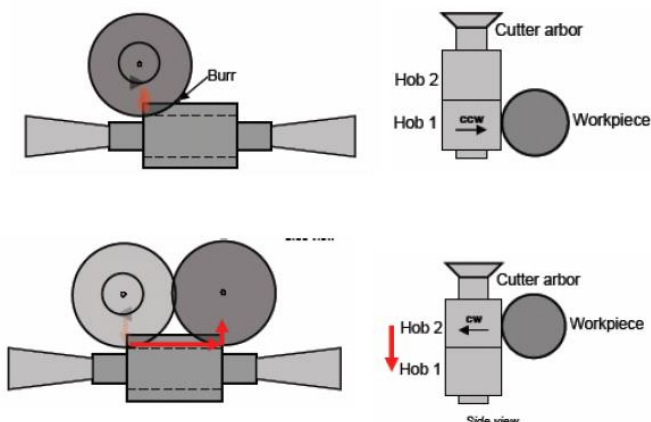
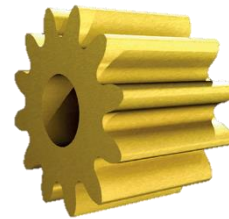


図6：ダブルホブデバリング法

## 5. 加工事例

### 5.1 平歯車 (ダブルデバリング法)

一個あたりの加工時間はダブルホブデバリング法によるバリ取りを含め7秒である (加工事例2)。



加工事例2：平歯車

加工時間：7秒

材質：真鍮

モジュール：m0.4

歯数：12

径：φ5.9mm

長さ：4mm

### 5.2 クラウンギヤ (焼入れ鋼加工)

焼入れ鋼の直切り、エンドミルを使用したバリ取りを含む (加工事例3、図7)。



図7：アーバの先端に搭載されたバリ取り用エンドミル



加工事例3：クラウンギヤ

加工時間：46秒

材質：焼入れ鋼

モジュール：m0.23

歯数：24

径：φ6mm

長さ：3.8mm

## 6. おわりに

卓越した数値制御の同期回転技術で、小型ギヤや小モジュールギヤを高速精密加工するアフォルター社の GEAR Line シリーズは、独自のバリ取り加工に加え、スカイピング加工やハードホビング加工も一台で叶える高能率加工機である。今後も幅広いギヤのアプリケーションに対し、ユーザーニーズに沿った最適なホブ加工のソリューションを提供していく。

以上