

超高速ドライ加工 を実現する

ホブ

歯車は、動力を伝達し、減速や増速、回転軸の向きや方向を変える重要な機械要素である。耐久性が求められる金属製歯車の製造には、ネジ状に切り刃が配置された「ホブ」と呼ばれる特殊な形状の切削工具が使用されている。「ホブ」に要求される技術的な特性と近年の開発動向について紹介する。

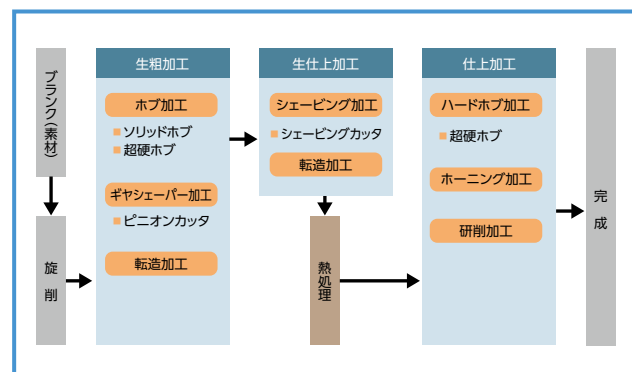
「ホブ」は螺旋状に配置された切り刃により、歯車の歯を高効率で創成することが可能な切削工具である。

高効率の歯車製造を実現する「ホブ」

近年の好調な自動車生産の影響を受けて、自動車部品の生産量も伸びている。歯車は自動車に多数使用される部品である。その需要はリーマンショック後の2009年度は約851億円まで落ち込んだが、2015年度には1,635億円にまで回復している。自動車向け歯車にはクロムモリブデン鋼が広く用いられており、一般的には、素材を円筒形に旋削したのち、生粗加

■最新の歯車加工法と加工工具(図1)

最新の外歯車製造工程の例。ホブは生粗加工と仕上加工の工程で使用される。



(株)不二越の資料をもとに作成。

工、生仕上げ加工、熱処理、仕上げ加工が歯車メーカーや自動車メーカーなどで行われている(図1)。

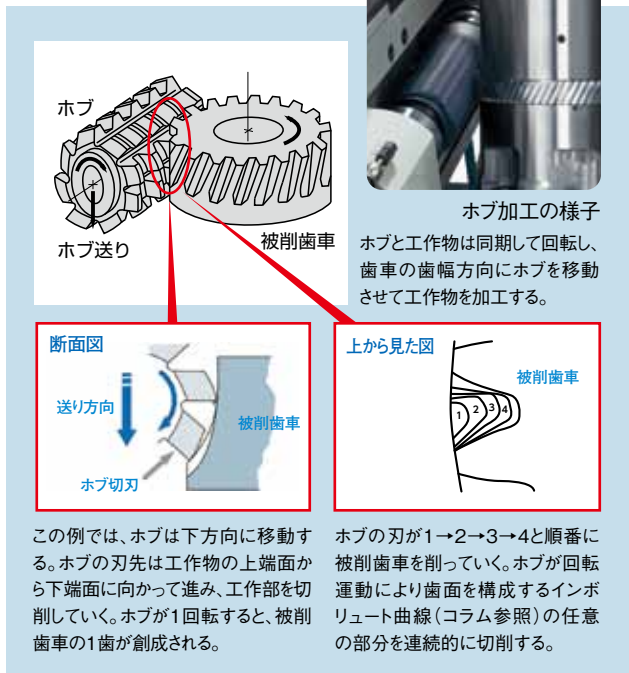
歯車には、平歯車、はすば(斜歯)歯車、やまば(山歯)歯車、かさ歯車、ねじ歯車など多様な種類がある。このうち、平歯車、はすば歯車を製造するために用いられる切削工具として、平板に切れ刃となる凸部が取り付けられた「ラックカッタ」、平歯車の刃の部分の部分が切れ刃になっている「ピニオンカッタ」、切れ刃が螺旋状に取り付けられた「ホブ」が代表的な切削工具として挙げられる。

切れ刃を螺旋状に取り付けたホブは、ラックカッタなどと比較して効率よく歯車加工をすることができ、自動車の歯車などをはじめとした精度と生産性が求められる歯車の製造現場で広く用いられている。

ホブを用いた歯車加工は次のように行われる(図2)。工作物(被削歯車、ワーク)は回転軸が鉛直方向になるよう固定され、回転する。ホブは工作物の回転軸と直行する水平方向の回転軸で回転しながら、歯筋方向に移動する(送る)ことによって、切り刃の形状を工作物に投影し、歯車の形状を創成していく。

ホブなどを用いて連続的に歯車の歯を削り出す(歯切りする)製造方法は「創成法」と呼ばれている。これに対して、バイトなどで歯溝を1つずつ切削する方法は「成形法」と呼ばれている。

■ホブによる歯車加工（創成法）の仕組み（図2）



（株）不二越の資料をもとに作成。

ドライ加工による高速化を支える材料技術

ホブの性能の最も重要な指標は、生産効率（切削速度）と工具寿命である。工具寿命は、ホブの刃の再研削や再コーティングが必要になるまでの、歯車の生産数で示される。性能向上のニーズに応えるため、ホブメーカーではさまざまな技術を開発してきた。1960年代には切削速度が30 m/min、工具寿命30個であったが、現在、切削速度300 m/min、工具寿命1,500個にまで、その性能が向上している（図4）。

これらの性能向上には、ホブ形状の改良、制御方式の進化などさまざまな要因があるが、ここではホブの材質と表面処理方法に絞って紹介する。

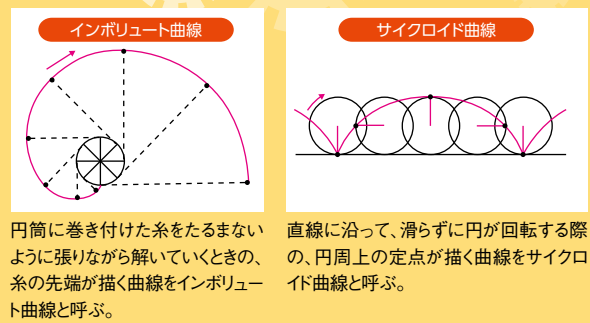
ホブには、高効率かつ安定な加工を実現するために必要な性能が求められ、材料特性とコーティング被膜特性が大きな要因になっている。材料特性としては、耐熱性・耐熱衝撃性・耐摩

さまざまな「歯形」

歯車には、インボリュート歯車、サイクロイド歯車など、歯形状が異なるさまざまな種類がある。これらの名称は、歯形状を設計する際に用いられる曲線に由来している。

歯形の作りやすさと加工精度保証の観点から、現在、インボリュート曲線で作られたインボリュート歯車が多く用いられている。また、摩擦損失が少なく、減速機効率が良いサイクロイド歯車があり、時計などに用いられるが、製造コストが高いという課題がある。

このようにして用いられるホブの代表的な製造工程は次のようなものである（図3）。溶解ハイスや粉末ハイスが材料として用いられ、棒状に加工された後に、ネジ状の溝が刻まれる。この溝を切り刃に加工し、最終的に表面処理を行うことにより、耐摩耗性や耐熱性を向上させている。

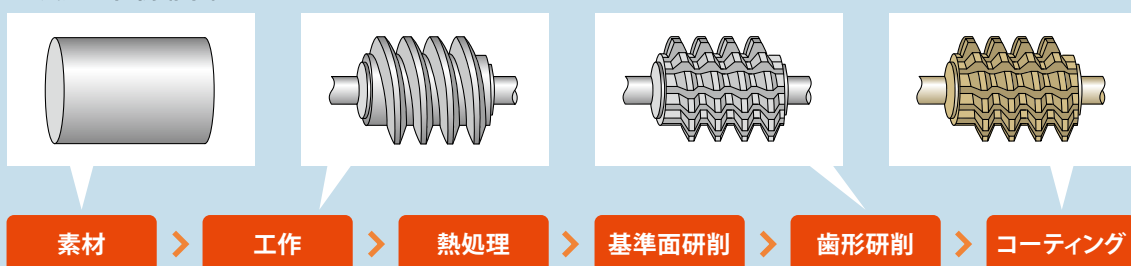


耗性・靱性が、コーティング被膜特性としては、耐摩耗性・靱性・耐熱性・安定性、などが挙げられる。

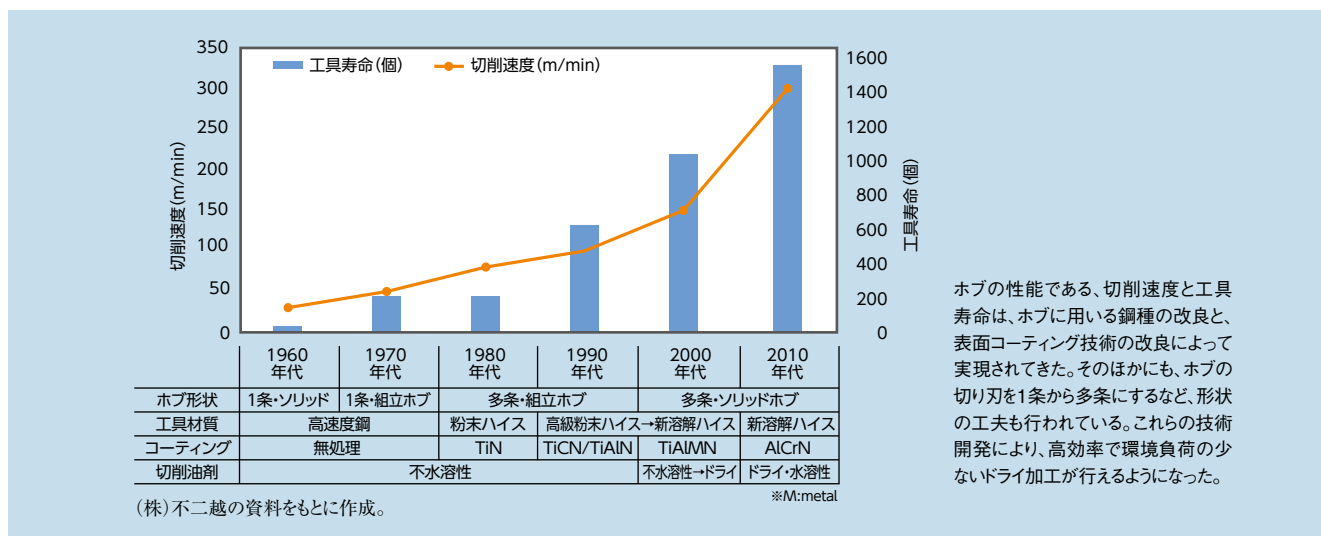
まず、ホブの材質の進化について見ていくと、ホブ用材料は、従来溶解ハイス、粉末ハイス、新溶解ハイスと進化してきた（図5）。

現在、ホブ用の材料として溶解ハイスと粉末ハイスが主に使用されている。代表的な鋼種としては、耐摩耗性、耐チッピング性に優れたSKH55、耐摩耗性、耐熱性に優れたSKH57、粉末ハイスでは靱性が高く、耐熱性に優れたSKH40が用いられている。

■ホブの製造工程例（図3）



■ホブの性能とニーズの変化 (図4)



一般的に粉末ハイスは高合金にも関わらず靱性が高いが、炭化物粒径が小さいために耐摩耗性が低いという問題がある。これに対して溶解ハイスは、バナジウムの添加量を増加させることで耐摩耗性の向上が実現できるが、炭化物が粗大化しやすく、靱性に劣るという課題があった。

また、これまで以上の高効率化に対応するためには、ホブ材料の耐熱衝撃性の向上も重要な課題であった。ホブ加工をはじめとした切削加工では切削油剤が使用される。切削油剤の使用は、切削工具のすくい面と切り屑の焼付き防止、工具摩耗の低減、冷却や洗浄を目的としており、不水溶性や水溶性など、さまざまな種類が用途に応じて使用される。

生産効率を向上させるためには、切削速度を上げれば良いが、工作物とホブの摩擦により、切削部の温度がそれまで以上に上昇することになる。そこで問題になるのがヒートサイクルの影響である。切削油剤を使用した加工では、切削速度が高速化すると、高温で高サイクルのヒートサイクルが発生するために、ホブの強度への影響や加工精度への影響が避けられない。このためホブ加工の高効率化の実現には、切削油剤による冷却が無く、高温・高サイクルのヒートサイクルを発生させない技術が不可欠であった。また、切削油剤を使用しないドライ加工は、環境

への負荷も少ないことから、環境保護の観点からも好ましい加工法と評価されている。

切削油剤を使用しないドライ加工を実現するためには、従来よりも耐熱性などで優れた特性を持つ材料が必要になる。そのために開発されたのがホブ用の新溶解ハイスである。従来の溶解ハイスで表面欠損の原因になった粗大炭化物を微細化・均一化することによって、粒界などの結合力を強化し、耐チッピング(欠け)性の向上と耐熱性の強化を実現している。これらのホブ用ハイスに求められる組織制御は、溶解技術と熱処理条件の最適化により行われている。

また、結合力の強化は、高速ホブ切りで刃先に生じるすくい面摩耗(クレータ摩耗)の防止にも大きな効果を示している。粉末ハイスの場合、炭化物が微細過ぎて摩耗が大きくなったり、結晶粒界ごと脱落する例があったが、新溶解ハイスでは結合力の強化によって、この課題も解決している。

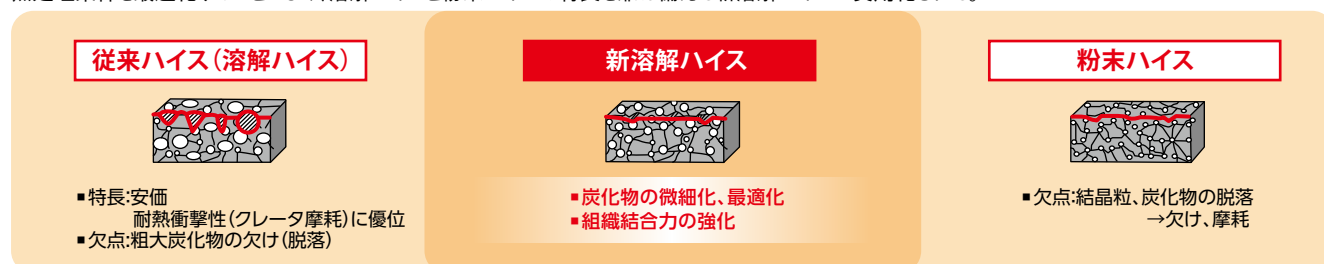


刃先を保護するコーティング技術の開発

材料技術とともに、コーティング技術が高効率化を実現する

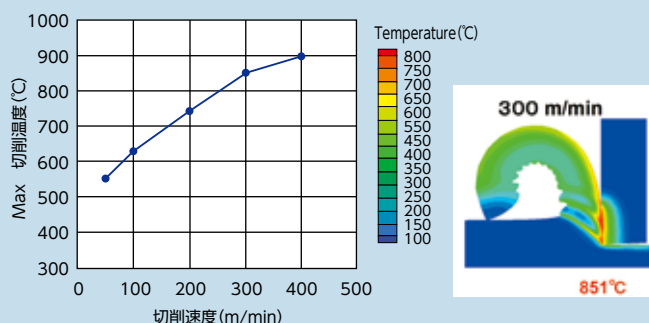
■ホブ工具材料の比較 (模式図) (図5)

熱処理条件を最適化することにより、溶解ハイスと粉末ハイスの特長を兼ね備えた新溶解ハイスが実用化された。



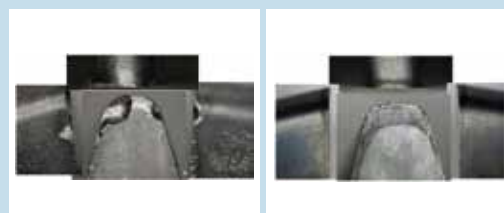
■ 切削速度と温度の解析結果 (図6)

ドライ加工を行う場合の、切削速度と温度の関係の解析結果。ホブの開発には、解析技術も重要な要素となる。



■ 加工数800個での摩耗状態の比較 (図7)

ホブ材質とコーティング被膜の最適化により、難削材のホブ加工においても、摩耗量を抑えることが可能になっている。



ワーク諸元:m(モジュール)2×PA(圧力角)15°
 ホブ諸元:3TH(条数)×NT(刃数)12、すくい面コート有り
 切削条件:V(速度)=110 m/min、f(送り量)=2.6 mm/rev、ドライ
 被削材:被削材:S45C(硬度HB280)

キーテクノロジーになっている。切削速度の増加に伴い、1980年代からホブの切れ刃表面には、TiNなどによる表面処理が施されるようになってきた。これにより、耐摩耗性が向上し、切削速度の高速化が実現されてきた。ドライ加工を実現するためには、さらに800℃を超える高温に耐える耐熱性がコーティング被膜に要求される(図6)。

ドライ加工に適したコーティング被膜には、耐熱性に加えて、工具寿命に大きな影響を与える安定性も求められる。安定性は、母材となる新溶解ハイスとコーティング被膜の密着性が寄与し、ホブに適したコーティング被膜の開発が行われてきた。

コーティング被膜の成分は、1980年代のTiNから、1990年代にはより耐熱性に優れるとされるTiAlN膜が開発され、その後もTiAlCrNやTiAlSiNなど、さまざまなコーティング被膜が開発され、実用化されてきた。

現在は、新溶解ハイスとコーティング被膜により、切削速度300 m/minを実現可能とするホブが開発されている。新しく開発されたAlCrN系のコーティング被膜は耐熱温度が1,100℃で、工具寿命は2倍以上の性能を持っている。

高速でホブ加工を行う際には、すくい面のクレタ摩耗の他、逃げ面摩耗も工具寿命に大きな影響を与える。従来のコーティング被膜と比較して、AlCrN系のコーティング被膜では、摩耗量は6分の1にまで抑えることが可能になっている(図7)。

コーティング被膜に要求される特性は、耐熱性や耐摩耗性だけではない。歯車加工メーカーや自動車メーカーでは、摩耗したホブを再研削したり、再コーティングして使用する。そのため、コーティング被膜の除膜性は、ユーザーの製造コストに繋がることになる。除膜工程には、従来、約1日が必要であったが、AlCrN系コーティング被膜は数十分という短時間で除膜できるため、再生工程の短期化が可能になっている。

超効率の歯車加工を実現する 精密工具の市場動向

現在、自動車のトランスミッション用途、建設機械、産業機械などにホブ加工で製造された歯車が広く利用されている。その他にも、航空機や発電機などの重要な産業分野でも、今後、さらに高精度化、高効率化、長寿命化が、使用する歯車には求められていく。それらのニーズに応えるため、ホブにもいっそうの性能向上が要求されている。

その流れの一つとして、製造ラインの変化への対応が挙げられる。従来は、ホブ盤で行われていた歯車加工を、複数の切削工具による加工を1台の装置で行える複合加工機で行いたいというニーズが高まっている。ホブ盤では、ホブは軸に取り付けられ、軸の両端を装置に取り付ける「両持ち」でサポートされ、工作物に大きな力で押し付けることによってホブ加工を行う。これに対して、複合加工機の場合は多くの場合、さまざまな工具を容易に交換できるように、軸の片方だけを固定する「片持ち」でサポートされるため、剛性が不足し、十分な加工精度を得られない場合がある。

また、歯車の軽量化ニーズは、より高強度で難削性の材料の使用に繋がる。そのため、ホブもこれに対応していく必要がある。

これらのニーズに対応するためには、ホブの材質の改善、表面加工技術に加えて、高度な解析技術や、ホブの設計技術が重要になる。特に高速のドライ加工を実現する新溶解ハイスの研究開発では、日本は世界に対してアドバンテージがあるとされている。

マザーマシンや精密工具など、ものづくりのためのものづくりは、表舞台に立つことの少ない産業分野であるが、日本の技術を支えるこのような分野こそ、継続した研究開発が重要であろう。