

# 高精度・高能率加工用歯切り工具

## Coated Gear Cutting Tool for High Productivity and High Precision

### キーワード

新膜コーティング (UGコーティング)、複合超多層膜、コーティングホブ、多溝化、切り屑厚みシュミレーション、高速ドライホブ切り、超硬ソリッドホブ、高精度ソリッドホブ、ホブ切りシュミレーション

工具製造所技術二部

朝倉俊一

津野正行

阿閉喜一

### 1. はじめに

最近の量産歯切り加工では、高速・高送りに代表される高能率加工の要求が、ますます高まっている。また、高精度CNC工作機械の普及に伴い、高精度加工への要求も高まってきている。被削材の難削化が進む一方で、近年の円高に伴う国際競争力の強化の為、工具寿命の延長の要求もさらに強くなってきている。このような課題に対応するために、これまでのTiNコーティングだけでなく、TiC+TiNなどの積層膜やTiCNやTiAlN、さらにダイヤモンドといった新しいコーティング膜が登場してきている。このような表面改質技術の進展に対して、当社では、耐摩耗性を向上させるために単層膜を厚くしただけでは、膜が脆くなるため、靱性を維持し、耐摩耗性を高めるため、複合膜から複合多層膜へと開発・商品化を進めてきた。ここでは、新たに開発した「新膜コーティング (UGコーティング)」の歯切り工具への適用例と高精度・高能率加工用歯切り工具について紹介する。

### 2. 複合超多層新膜コーティング (UGコーティング) の特徴

複合超多層新膜コーティング (以下UGコーティングと呼ぶ) は、切削工具に必要な耐摩耗性や耐熱特性を高め、歯切り工具用に当社が独自に開発したTiCN系の複合多層膜である。その特性を表1に示す。

耐摩耗性の指標であるコーティング膜の硬さは、2,700~2,800HvとTiNより硬く、500°Cでの高温硬さもTiNに比べ、硬さの低下は見られず、耐熱特性に優れている。また、コーティング膜の硬さが高いにもかかわらず、超多層

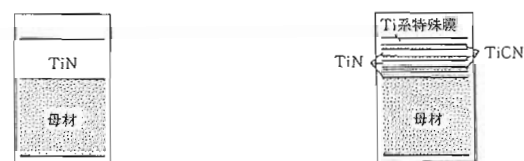
膜化することにより、膜全体の靱性は、TiNとほぼ同じである。

このように新膜コーティングは、従来のTiN単層膜や複合膜と比較して、耐摩耗性、耐熱特性、靱性がそれぞれ優れており、機能的にバランスのとれたものとなっている。

新膜コーティングは、3層構造からなる複合超多層膜であり、各層には次の機能を持たせて設計されている。図1は、新膜コーティングの膜構成の概念図である。

- ①下地層は、ハイス母材と密着性のよいTiNを用い、密着強度を高める。
- ②中間層は、膜の硬さが高いTiCN系の超多層膜とし、耐摩耗性を向上させる。
- ③表面層には、Ti系特殊膜を施して、母材を保護する。
- ④上記の三層の機能を連続的に組み合わせることにより、靱性を持たせる。

Ti系硬質膜のおおのこの機能特性を、歯切り工具用として最大限発揮できるよう組み合わせたものである。また、表面層のTi系特殊膜は、保護膜の機能に加え、これまでのTiNコーティングの金色とは異なり、青みがかった灰紫色で重厚感のある色調になっている。



TiNコーティングの組成

高性能複合超多層膜  
UGコーティングの組成

図1 新膜コーティング (UGコーティング) 膜構成の概念図

表1 UGコーティング膜と各種コーティング膜の比較

コーティング膜	耐摩耗性 (常温の硬さ)	靱性 (欠けにくさ)	耐熱特性 (500°C高温硬さ)	密着性 (高速度鋼との付着力)
UGコーティング	柔らかい 硬い Hv 1,000 2,000 3,000	欠けにくい →	柔らかい 硬い Hv 1,000 2,000 3,000	N 30 50 70
TiN				
TiCN				
TiC				
TiAlN				
参考高速度鋼				

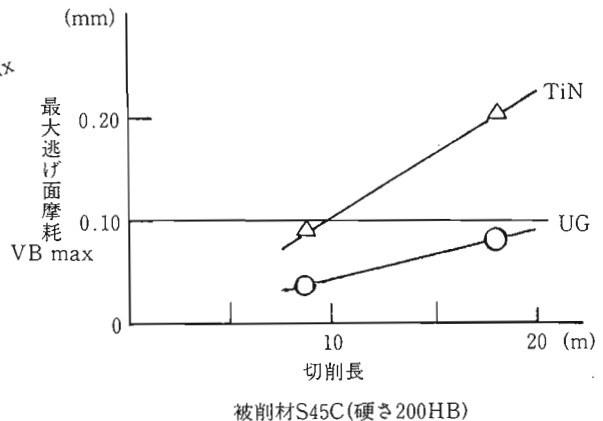
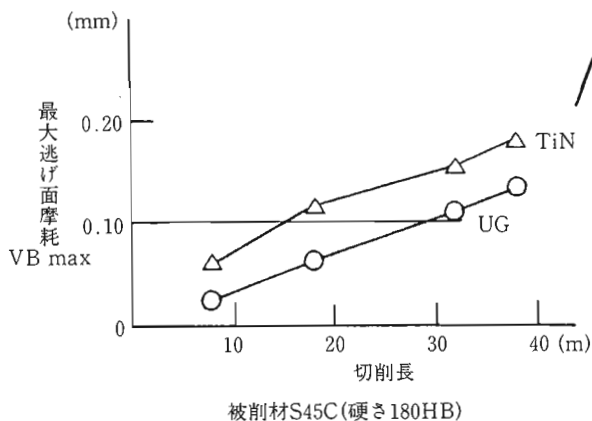
### 3. UGコーティング歯切り工具の性能

これまで、UGコーティングの特徴について述べてきたが、ここでは歯切り工具への適用事例について紹介する。

図2は、通常より過酷な切削条件でやや硬い被削材をホブ切りした結果である。硬さ180HBの被削材の試験で、逃げ面摩耗量 (VB) が、0.1mmになるまでの切削長を比較すると、TiNコーティングホブに比べUGコーティングホブ

は、約2倍の切削長で摩耗量は同じである。また、硬さ200HBの被削材のホブ切りでは、TiNコーティングホブの摩耗が、切削長とともに急速に増加しているのに比べて、UGコーティングホブは、膜の特性の耐摩耗性と靱性の優位さにより摩耗の進行が抑制され、安定していることがわかる。

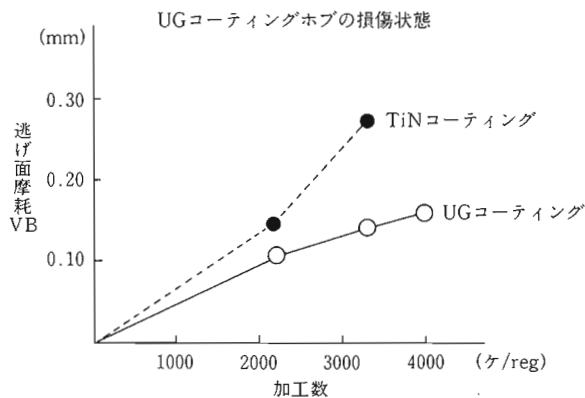
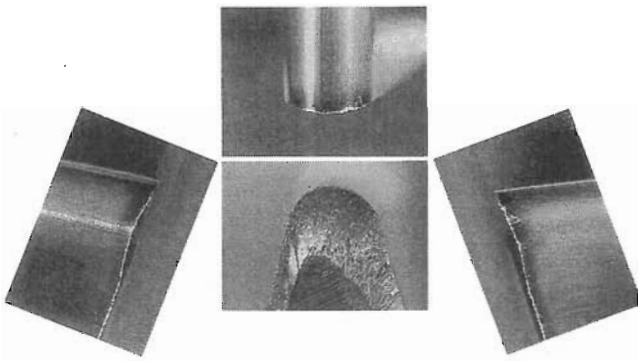
図3および図4は、実際のラインにてUGコーティングホブをテストした結果である。いずれの場合も、TiNコーテ



ホブ：φ70×L70×φ31.75，1条，RH，12溝，SKH55  
 被削歯車：m3×PA20°×30T×SPUR，歯幅B=50，S45C  
 切削条件：切削速度V=110m/min，送り速度F=4mm/rev，クライム  
 すくい面コーティングなし 不水溶性切削油

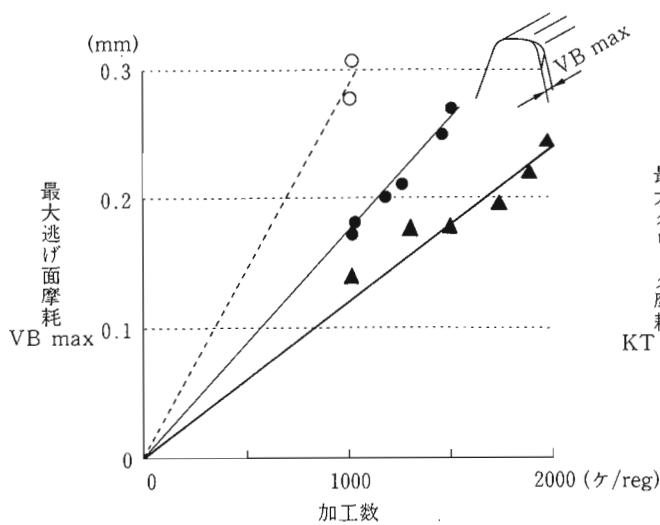
図2 UGコーティングホブの切削性能(1)

イングに比べ、UGコーティングは、1.5~2倍近い加工数でも、逃げ面摩耗は少なく、写真のように摩耗形態も安定

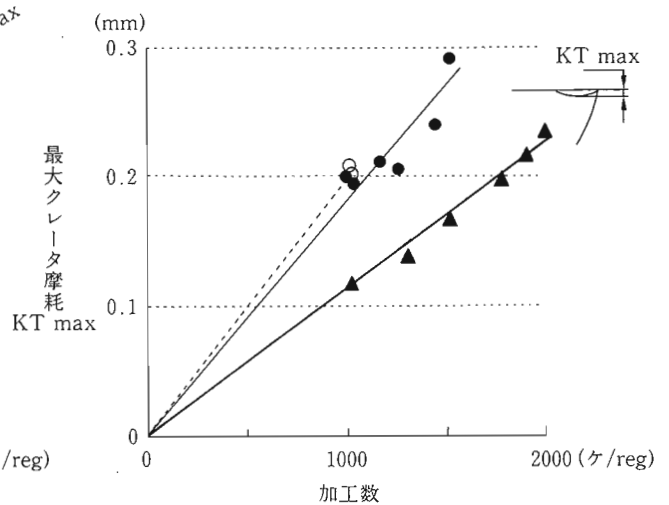


ホブ：φ95×L150×φ31.75，3条，RH，12溝，SKH55  
 被削歯車：m1.75×PA17.5°×30T×30°RH，歯幅18mm  
 SCr420，150HB  
 切削条件：切削速度V=110m/min，送り速度F=1.5mm/rev  
 同巻クライム，すくい面コーティングなし 不水溶性切削油

図3 UGコーティングホブの切削性能(2)



最大逃げ面摩耗 (VB) 比較



クレータ摩耗 (KT) 比較

- ----- TiNコーティング+12溝
- —— UGコーティング+12溝
- ▲ —— UGコーティング+16溝

ホブ：φ95×L150×φ31.75，4条，RH，12・16溝，FAX38  
 被削歯車：m2.5×PA20°×70T×30°RH，歯幅25mm  
 SCr420，150HB  
 切削条件：切削速度V=100m/min，送り速度F=3.3mm/rev  
 同巻クライム，すくい面コーティングなし 不水溶性切削油

図4 UGコーティングホブのクレータ摩耗対策事例

していることがわかる。

そして、図4に示すようにクレータ摩耗 (KTの進行には、コーティングの違いによる差はない。高速・高送りで歯切りする場合は、切削熱の影響により、クレータ摩耗の進行が逃げ面摩耗より早く、寿命の主要因となることが多い。そのため、UGコーティングホブを再研削して使用する場合、逃げ面摩耗のみではなく、クレータ摩耗の深さに注意して、再研削当たりの加工数や再研削量を設定しなければならない。クレータ部では、切削熱による損傷が表層からさらに深く入っているため、再研削時には、この損傷部を完全に除去しておかなければならない。取り残しがあると、損傷が深くまで進行し、思わぬチッピングや刃欠けの原因となる。

図4は、クレータ摩耗対策として、ホブ溝数を12から16に増加して、切り屑厚みを薄くし、切り屑からの熱的影響を弱め、クレータ摩耗の進行を抑制した事例である。

図5は、このときの切り屑厚みをシュミレーション<sup>(1)</sup>したものである。溝数を多くしたことにより、切り屑の長さはあまり変わらないが、厚さと面積が小さくなっていることがわかる。したがって、ホブの切れ刃にかかる熱的負担も、軽減される。ただし、ホブ溝数を必要以上に多くすると、クレータの幅が狭くなり、クレータ最深部が切れ刃エッジに近ずきエッジが決壊し、異常摩耗の原因となりやすい。また、溝数が多くなると、刃長が短くなって、再研削回数が減り、経済的でないので、一般的には、多溝といっても15~20溝程度までが、目安である。

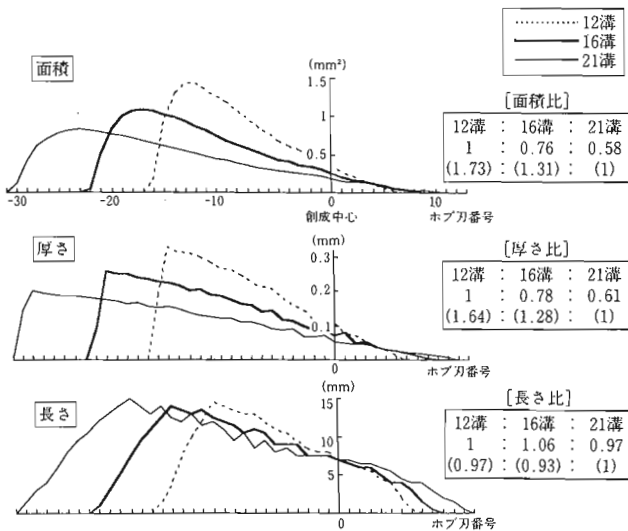


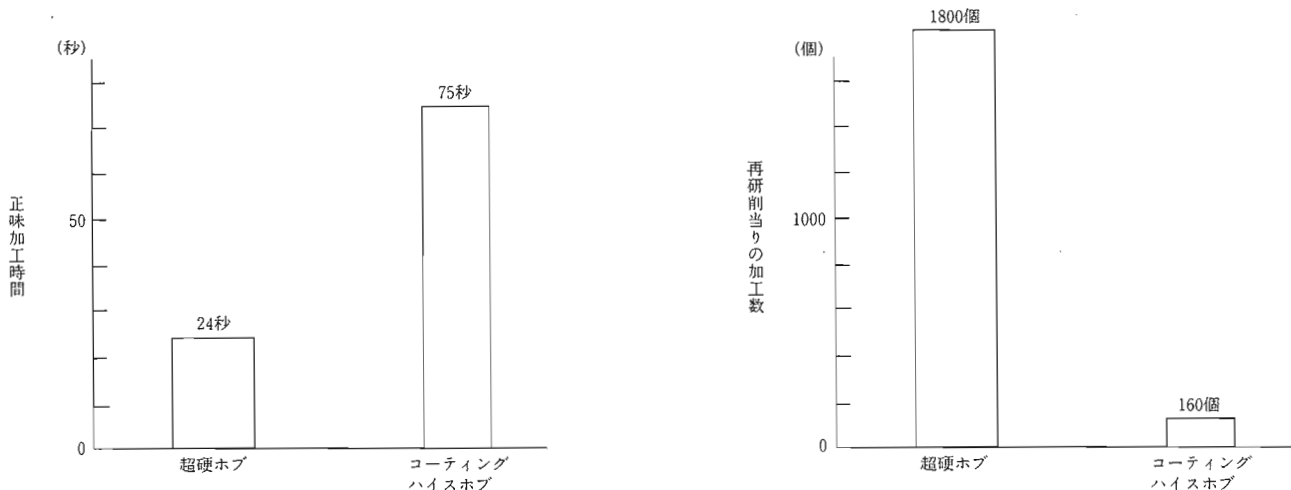
図5 ホブ切りの切り屑厚みの計算例

このような耐摩耗性の優れたUGコーティングの特徴を引き出すには、クレータ摩耗対策<sup>(2)</sup>として、母材に高級粉末ハイスを使用したり、多溝化や多条化、あるいは、小径化により切削速度を下げ、送りを上げたりという手法を併用することがいっそう効果的である。

UGコーティングは、ピニオンカッタにも適用可能であり、ホブと同様な効果得られている。

#### 4. 高速ドライホブ切り用超硬ソリッドホブ

近年、注目を集めている高速ドライホブ切り用超硬ソリッドホブにも、このUGコーティングは、有効である。350m/minを超える高速高能率加工でも、超多溝(20溝以上)とコ



ハイスホブ：φ97×L150×φ40、4条、12溝、TiNコーティング  
 切削速度100m/min×送り速度2.5mm/rev、不溶性切削油  
 超硬ホブ：φ90×L150×φ40、3条、22溝、UGコーティング  
 切削速度350m/min×送り速度3mm/rev、ドライカット、すくい面コーティング  
 被削歯車：m2.3×PA17.5°×58T×30°LH×歯幅22mm SCr420、かたさ150HB

図6 高速ドライホブ切り用超硬ソリッドホブの切削性能

ーティングにより、大幅な寿命向上が可能となった。

図6は、コーティングハイスホブとUGコーティングを施した超硬ホブの加工時間と、再研削当たりの加工数を比較したものである。超硬ホブの加工時間は、ハイスの3分の1で、再研削当たりの加工数は、10倍以上になっている。当社では、表2に示すような標準仕様の素材を予め準備し、顧客の要求に迅速に対応できるようにしている。

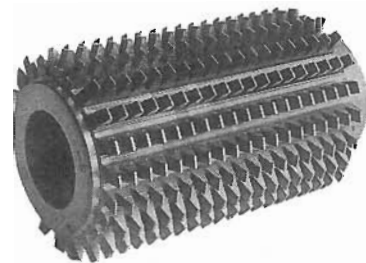
#### 5. 高精度ソリッドホブによる歯車加工精度向上

歯車精度向上への強いニーズに応え、高精度CNCホブ歯形研削盤の開発と加工ソフトを充実した。

図7はこの新鋭設備により研削したソリッドホブの精度とそのホブで加工した歯車精度のデータである。ホブ精度はDIN-AA級を満足し、歯車精度も条件さえ整えばJIS2

表2 超硬ソリッドホブ標準仕様一覧表

外径 mm	穴径 mm	全長 mm			
		75	100	150	180
φ75	φ32/φ31.75	○	○	○	—
φ90	φ40/φ38.1	—	—	○	○



●ホブ精度

単位：μm

		隣接		全体	
左		2	7	(4)	(8)
右		3	5	(4)	(8)

●歯筋誤差

左		3	5	(4)	(6)
右		2	3	(4)	(6)

( )内 DIN AA級

●加工歯車の歯形

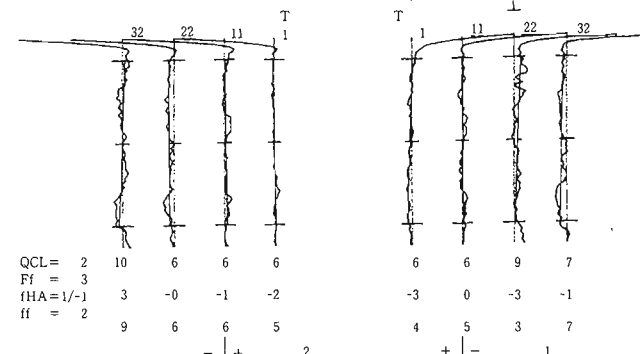


図7 高精度ソリッドホブの精度とその加工データ

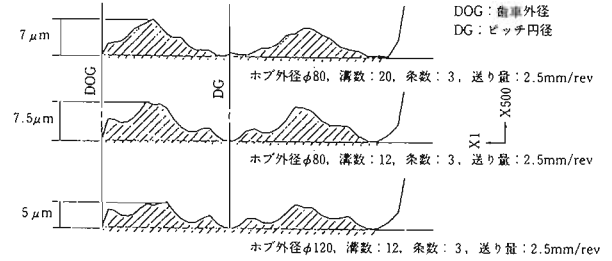
級を確保出来ることを示している。当社では、このような高精度ホブを、小径・多条・多溝などの特殊仕様のホブにも対応できるようにしている。さらに、この高精度ホブの特長を生かすため、アプリケーションを充実させている。どんなに高精度なホブを使っても、ホブの取り付けの振れが大きい、あるいは、加工物の取り付け状態が不良であれば、高精度加工ができないことはよく知られている。

図8は、当社で開発したホブ切りシュミレーションプログラム<sup>(3)</sup>によりホブ切り後の歯車歯形を計算したものである。この解析結果では、送りが大きい場合は、ホブを多溝にしても歯形誤差はあまり小さくならないことがわかる。そして、歯形誤差を小さくするためには、大径・多溝ホブにして、送り量を小さくしなければならない。また、図8の右下の図は、ホブ両端の偏心の位相が、180°ずれて、ホブがすりこぎ運動をした時のホブ切り歯形のシュミレーションを示したものである。この図では、歯車歯形が、左右非対称になり、歯形誤差も大きくなることがわかる。

このように、実際のホブ取り付け誤差が、どのように歯車精度に影響を与えるかを解明するアプリケーションの充実により、ユーザのかかえる問題を早期に解決、あるいは、事前に予測も可能となっている。

●計算例

●ホブ外径、溝数の違いによる歯形誤差



●ホブ取り付け誤差による歯形誤差

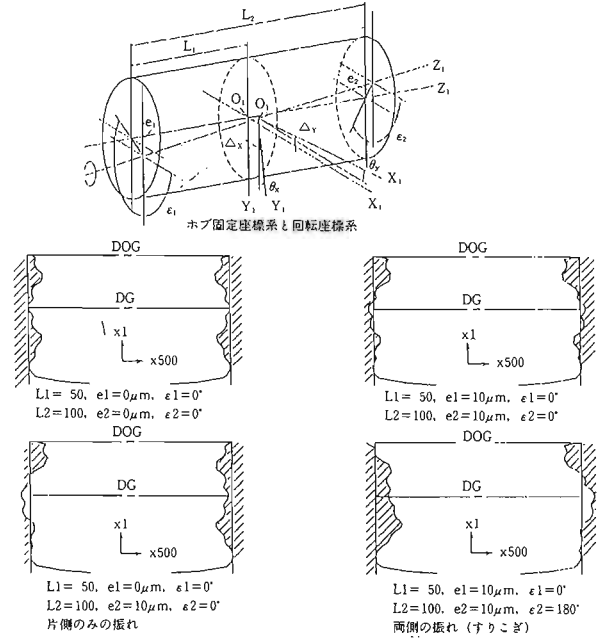


図8 ホブ切り歯形のシュミレーション事例

## 6. おわりに

以上、UGコーティングを使った高能率・高精度加工用歯切り工具と、その効果的な使い方を事例やシュミレーションを使って紹介してきた。UGコーティング歯切り工具は、すでにお客様から高い評価を得ており、加工現場の高能率・高精度加工や低コストへの要求に応えるものである。

## 文献

- (1) 寺島健一ほか；機論43-373C, (昭52-9), 3535
- (2) 永野喜三郎ほか；機論56-530C, (1990-10), 2697
- (3) 有浦泰常ほか；機論52-480C, (昭61-8), 2160