

新世代デュアルカットホブの 切削特性について

Cutting Features of New Generation DUAL CUT HOB

キーワード

環境、ハイス、コーティング、クレータ摩耗、高速高能率化、ウェット加工、
ドライ加工、付着物、切削メカニズム、（デュアルカットホブ）

機械工具事業部工具技術部

塚本 裕

谷口 忍

■ 適用

ホブ切り加工の分野では従来にも増して高速・高能率化が進む一方、ホブの長寿命化の要求も強くなってきている。これに対して、ホブ母材としての高速度工具鋼やコーティング皮膜の技術は近年著しく進歩し、ホブ自身の性能も大幅に向上している。そして、新たに世界的な環境問題に対する関心が高まる中で、切削油を使用しないドライホブ切り加工が注目され実用化の方向に向かっている。

本稿では、ホブ材料や表面処理の最新技術を駆使し、ドライおよび高速ウェット加工の両方において切削性能が大幅に向上した新世代デュアルカット（乾湿双方切削対応）ホブの特徴について述べるとともに、その加工事例を紹介する。また、加工条件や被削材の違いによる摩耗形態の特異性は切削メカニズムを解明して、その加工特性を考察する。

■ Abstract

A demand of the life-lengthen of the hob also strengthens, while high speed and efficiency enhancement also advance by increasing convention in the field of the hobbing processing.

For this, the technology of high speed tool steel as hob base metal and coating film remarkably advances recently, and the performance of hob it is also drastically improved.

Then, in the inside where the interest for the newly worldwide environmental problem heightens, dry hobbing processing which does not use the cutting oil is noticed, and the direction of the practical application is approached.

The processing case is introduced, while in this paper, hob material and newest technology of surface treatment are utilized, and while features of new generation dual cut (both the dry and wet cutting correspondence) hob in which cutting performance is drastically improved in both of the dry and high-speed wet processing are described.

And, by clarifying the cutting mechanism, the specificity of the wear mode by the difference between work material and machining condition examines the processing characteristics.

1. はじめに

歯車加工分野においては、歯車部品の高性能化・低コスト化の要求は従来にも増して厳しくなっている。そのため、歯車加工工具に対しては高精度化・高能率化・長寿命化などのニーズも一層強くなっている。

一方では、環境問題に対する関心も高まり、機械

加工では切削油や研削油を使用しない加工法（以下ドライ加工と呼ぶ）が注目され急速に普及している。このことは、ホブ切り加工の分野においても例外ではない。従来、ホブ切りでは加工精度と工具寿命の向上を図るため切削油を使用する加工法（以下ウェット加工と呼ぶ）が一般的である。しかしながら、最近のホブ材料、表面処理およびホブ盤の技術進歩にとともに、切削油を使用しない高速ドライ加工が

実用化されてきている。

このドライホブ切り加工は超硬ソリッドホブで初めて実用化され⁽¹⁾、一部で普及し始めていた。しかしながら、超硬ホブはチッピング発生等により工具寿命が安定しないとか、高価で取り扱い性が悪いといった超硬特有の問題により、広く普及するには依然課題が残されている。そこで、現在では比較的安価で靱性も高い高速度工具鋼製ホブ（以下ハイスホブと呼ぶ）のドライ加工が注目されてきている。1990年以降に耐熱性に優れた TiAlN（チタンアルミナトライド）系コーティングが開発されたのを機に、欧米ではこの TiAlN 膜を施したハイスホブによるドライ加工の事例も数多く紹介されている⁽²⁾。しかしながら、ドライ加工に十分に耐え得るハイス材料の開発や TiAlN 膜の最適化の遅れにより、なかなか実用化までには至らなかった。しかし、現在では高合金溶解ハイスの開発や TiAlN 膜の改良により新世代ハイスホブが誕生し、ドライ加工の実用化が可能になったとともに、高速ウェット加工においても切削性能が大幅に向上した。ここで、超硬およびハイスにおける高速ドライホブ切り加工での切削条件の実用領域を図 1 に示す⁽³⁾。ハイスホブはドライ加工することにより、クレータ摩耗が小さくなる特性があるため高速領域（V=150～200m/min）での切削が可能となった。また、超硬ホブはチッピングに対して安定した切削が可能で超高速領域（V=300～350m/min）で一部実用化されている。

本稿では、ドライおよび高速ウェット両方の切削加工（以下デュアルカットと呼ぶ）にて高性能を実現した新世代デュアルカットホブの事例を紹介し、切り屑やホブの観察による切削メカニズムとその加工特性について考察する。

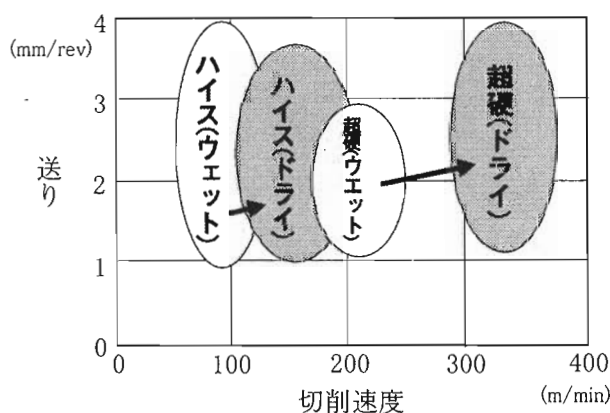


図 1 ホブ切り加工法による切削条件領域

2. デュアルカットホブの特長

2.1 ホブ材料の開発

現在、ホブ用ハイスには溶解ハイスと粉末ハイスの 2 種類がある。本来、ハイスは耐摩耗性を向上させるため、一般的にバナジウム（以下 V と呼ぶ）成分を増すが、溶解ハイスにて V 成分を増していくと炭化物が粗大化し易くなり、靱性および加工性（被削性、被研削性）が低下する。そこで、ハイスを粉末化することで高 V の成分設計が可能となり、耐摩耗性に優れた高靱性の粉末ハイスがホブ材で使用されるようになってきた。しかし、多くの点で溶解ハイスより優れた性能を持つと思われた粉末ハイスも、高速・ドライ加工での過酷な条件化では、クレータ摩耗などの局所的な強度には弱点がある。

そこで、溶解ハイスの安価で耐熱衝撃性に優れているという特長と粉末ハイスの耐摩耗性や高靱性の両方の性能を発揮する新溶解ハイスを開発した。この新溶解ハイスと従来溶解ハイスおよび粉末ハイスの炭化物組織を図 2 に示す⁽⁴⁾。また、高速加工に発生する切削熱に耐えうる母材強度を確保するために熱処理条件の最適化を確立した。これにより、ドライおよび高速ウェット加工における耐熱衝撃性を確保し、耐摩耗性や耐チッピング性を向上することができた。

2.2 表面処理

ホブ切り加工のドライ化および高速ウェット化が進む中、耐熱酸化性・放熱性に優れた TiAlN 膜⁽⁴⁾が採用されてきている。この TiAlN 膜は従来のコーティングと比べ硬質膜であり耐摩耗性に優れているが、母材がハイスでは密着性や靱性において性能が低下し易くなる。特にドライ加工においては、潤滑膜がなく、切り屑が切れ刃に凝着し易くなり切削抵抗も大きくなるため、TiAlN 膜には密着性・靱性・凝着性等の性能向上も要求される。

そこで、これらの課題を解決し、最適化した新膜コーティングを開発したことで、ドライ加工はもと

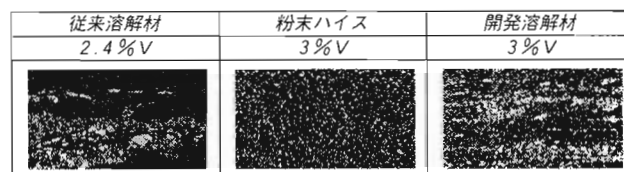


図 2 ハイス開発材料の炭化物組織

(諸元・条件)	
モジュール：m2.5	ホブ外径：φ90
圧力角：PA15°	ホブ溝数：16
ワーク歯数：52T	ホブ条数：4条
被削材：SCM415 (硬さ：180HB)	
切削速度：V=150m/min	
切削送り：f=2.8mm/rev	
ドライ加工、すくい面コーティング有	

コーティング	切削長 84m	195m	307m	クレータ
従来品				摩耗量 21μ
開発品				摩耗量 9μ

図3 コーティング改良による性能評価

より高速ウェット加工においても切削性能が向上した。図3にホブのすくい面にはコーティング有りの状態で、切削速度 V=150m/min でドライ加工した時のクレータ摩耗の進行状態を示す。新膜の方が従来膜と比べてクレータ摩耗の拡大面積および深さも小さく、性能が向上していることがわかる。

3. ハイスホブによるドライ加工

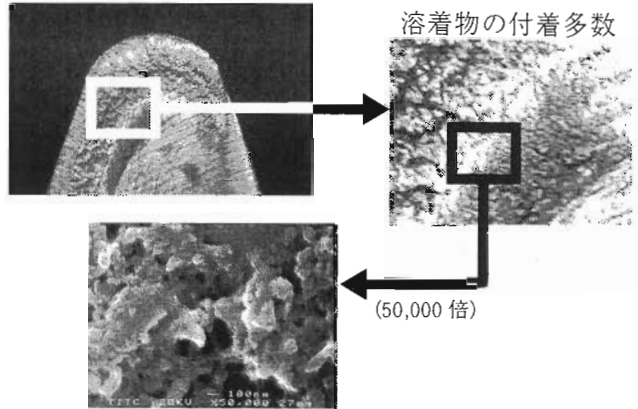
3.1 特異現象と切削特性

従来からのハイスホブによるウェット加工での高速切削は 120m/min 程度が限界領域とされ、それ以上になると、摩耗が急速に進行し易くなるため実用的でないと考えられていた。しかしながら、高速ドライ加工 (150m/min 程度) においては、すくい面にコーティング膜がなくても、従来のウェット加工と比較して摩耗は小さくなるという特性がある。ここでは、ドライ加工における特異現象の調査結果を述べるとともに、その切削特性について考察する。

図3のワークおよびホブ諸元にて、切削速度 V=150m/min の高速ドライ加工と V=100m/min の通常ウェット加工をホブのすくい面にコーティング膜がない状態にて実施した。このときの、ホブのすくい面性状を図4に示す。すくい面上のクレータ摩耗の形態は両者にて特徴的な差異がみられる。すなわち、ウェット加工においてはクレータ摩耗の進行度合がはっきり確認でき、その分布は左フランクの切れ刃側に近づいている。一方、ドライ加工においては切削長が3倍以上もありながら、クレータ摩耗は浅いうえ、局部的に進行した形跡もなく、切れ刃から内

★ドライ加工

(V=150m/min, f=2.8mm/rev, 切削長 279m)



★ウェット加工

(V=100m/min, f=2.8mm/rev, 切削長 84m)

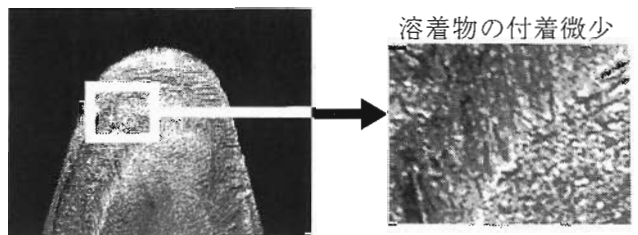


図4 ドライ・ウェット加工におけるホブのすくい面性状

部まで比較的均一である。また、ドライ加工におけるホブのすくい面を注意深く観察すると、切り屑の一部と思われる様な溶着物が多数付着している。しかし、従来のウェット加工ではこのような溶着物はほとんどなく、すくい面の表層はハイス組織の性状である。そこで、ドライ加工のみに観察されるこの表面の付着物を更に詳しく調査するために、高分解能走査電子顕微鏡 (以下 SEM と呼ぶ) にて写真撮影 (50,000 倍) を行った。この付着物は丸みを帯びた粒状を呈しており、その粒径の平均的な大きさは 50~100nm (1/1000μm) と極めて微細である⁽⁵⁾。また、その粒状の付着物には多くの空隙が見受けられ、まるでスポンジ状の組織である。

一方、ホブ切りした切り屑の性状を観察した結果、ウェット加工での切り屑は一部茶褐色に変色しているものの、切削油による冷却効果により、ほとんどが金属色である。ところが、ドライ加工の切り屑はすくい面に接触している部分はほとんどが青紫色に変色しており、切削熱の影響をかなり受けていることが予想される。そこで、切り屑についても詳しく観察してみた。切削速度 V=150m/min にてドライ加工した時の切り屑の断面(特にすくい面に接触している部分)の拡大写真を図5に示す。これによると、

密集したパーライト、フェライトのせん断により生成された層状組織が見られるうえに、ホブのすくい面に接触している部分には、切削熱の影響によると思われる数 10 μ m 程度の変質層が確認できる。そこで、この変質層も SEM にて写真撮影 (50,000 倍) を行った結果、ホブのすくい面で確認された粒状組織と多くの空隙が同様に観察された。この粒状組織も極めて微細であり、大きさは数 10nm 程度であった⁶⁾。また、参考までに低速ドライと高速ウェット加工での切り屑断面も図 5 に示した。低速ドライ加工の切り屑にも切削熱による変質層がわずかながら確認できたが、高速ウェット加工では確認できなかった。

さらに、ドライホブ切り加工における切削温度測

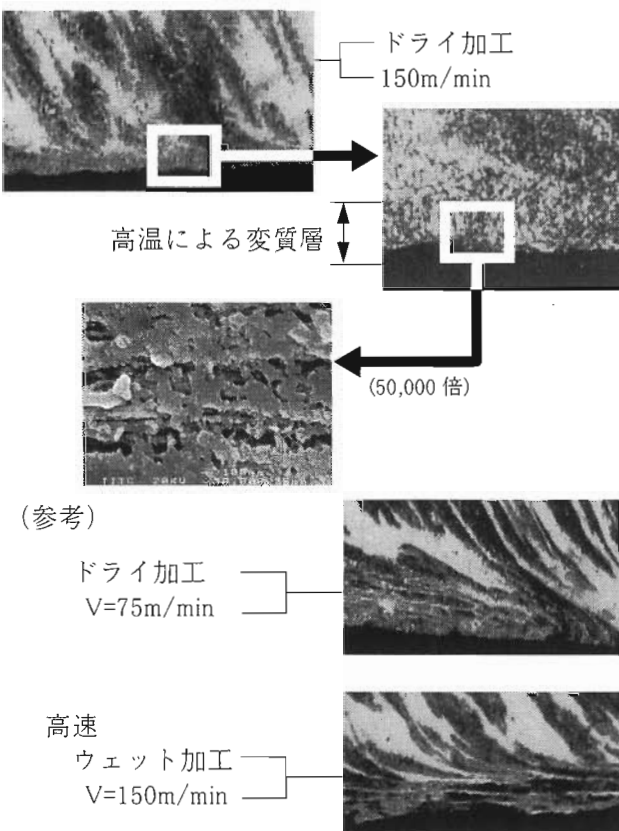


図 5 ライホブ切りワークの切屑断面

指温塗料にて 800°C 検出 m2.5, PA16°, NT55
 V=150m/min, f=2.8mm/rev

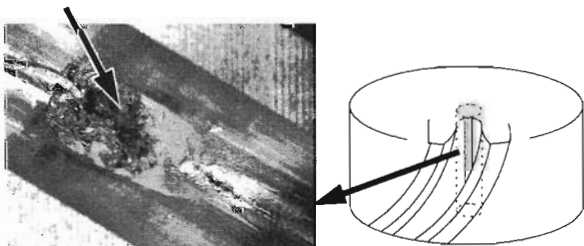


図 6 ドライホブ切りによる切削温度測定

定を試みた。図 6 で示すように、歯車の歯底に位置する部分に直接指温塗料 (特定範囲の瞬間温度にて溶融する塗料) を埋め込み、ホブ切り加工を行った結果、800°C 近傍の塗料が反応した。やはり、かなり高温の切削熱が発生していることが確認できた。

3.2 切削メカニズムの考察

ドライ加工の方がクレータ摩耗を抑制して寿命が向上するといった切削メカニズムは、以上の述べてきたホブのすくい面性状や切り屑の断面組織の特異現象から、以下の様な内容で考察できる。

- ① 切削機構が複雑で、かつ重切削加工とされるホブ切り加工では、切削時においてかなりの圧力がホブの切れ刃に負荷されている。また、高速ドライホブ切り加工においては、極めて急速な温度上昇と、かつ高温の切削熱が発生している。
- ② よって、ホブ切り加工時の切削点付近では、この高温高圧といった条件下において、本来の金属溶融温度に達しない切削熱においても被削材料組織の変化 (変態及び転位の発生) が起きているものと考えられる。
- ③ そして、切り屑の表面に近い部分に発生するこの変態した微細な組織は、ホブのすくい面を滑る間に摩擦等により強度を維持できずに遊離しやすくなり、この部分があたかも自己潤滑のような役割を果たし、すくい面のクレータ摩耗を抑制する効果が働くものと考えられる。
- ④ さらに、この微細で空隙の持った組織はすくい面に付着し、切削熱がホブに伝達するのを遮断し、母材の軟化によるクレータ摩耗の進行を防ぎ、切り屑が切削熱の多くを持ち去るといった保護膜的な役割もあると考えられる。
- ⑤ また、高速ドライ加工はウェット加工と比べ潤滑機能が乏しく、構成刃先も付きやすいため、切削時のせん断角が小さくなり、切り屑は厚くて短くそして伸び易くなる。また、切り屑はホブの切れ刃付近で凝着し易く、逆にすくい面内部では隆起して接触しにくくなり、切削熱がすくい面に伝達されにくいものとする。これは、ホブのすくい面における切り屑の接触領域および接触長さが異なっていることである。

以上のことが、ドライ加工における摩耗抑制の切削メカニズムと考える。しかし、まだまだ解明されていない未知のことも多く残されており、今後とも更なる調査および解析が必要と思われる。

4. デュアルカットホブの切削性能

4.1 加工条件による切削性能

図7はホブのすくい面にコーティングなしの状態にてドライおよびウェット加工したときのデュアルカットホブの切削性能を示す。対象ワークは自動車用歯車の中でも、比較的大モジュールの歯車であり、被削材は一般的に用いられる浸炭鋼 SCR420H を用いた。また、使用したホブ諸元は高能率加工用の多条多溝である。そして、切削性能評価はフランクの逃げ面摩耗量とすくい面のクレータ摩耗にて比較した。

まずは、比較用として一般的な仕様である HS53M (SKH55 相当) + TiN コーティングのホブを用いて、ウェットでは限界領域とされる切削速度 $V=120\text{m/min}$ の高速加工条件を選定した。加工結果は、やはり摩耗の進行が早く、逃げ面摩耗量は 0.2mm に達して再研磨時期に来ている。それに比べてデュアルカットホブは同一加工条件においても、逃げ面およびクレータ摩耗は小さく、寿命比は 1.8 倍以上にもなり大幅に切削性能が向上していることがわかる。このことは、耐摩耗性・耐熱衝撃性に優れた新世代ハイスと耐熱性に優れた新膜コーティングを採用した効果の現れである。また、このデュアルカットホブを用いて同一切削条件のドライ加工では、前項で述べた切削メカニズムの特性によりクレータ摩耗は $1/3$ 以下に減少して、さらに寿命が向上した。そして、このドライ加工での切削速度を $V=160\text{m/min}$ まで上げてても摩耗の進行は少なく、 $V=120\text{m/min}$ の高速ウェット加工よりも寿命が向上するといった結果が出た。

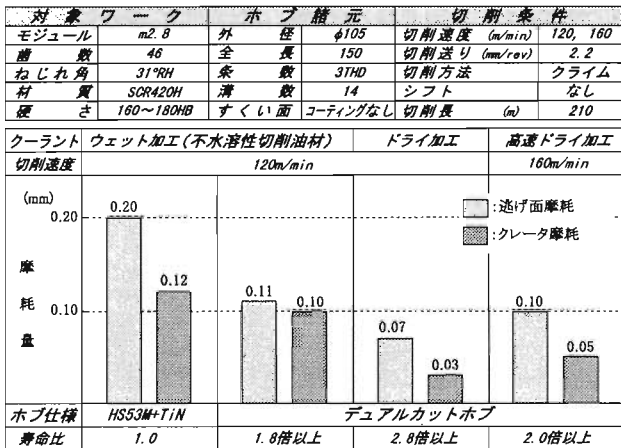


図7 デュアルカットホブの切削性能

4.2 被削材の違いによる切削特性

ホブ切り加工では難削材の代表とも言える炭素鋼 S45C および SCM435 の調質材におけるデュアルカットホブの切削性能を図8に示す。尚、加工条件および性能評価は SCR420H の加工時と同様である。

難削材加工においても、デュアルカットホブは高速ウェットおよびドライ加工にて摩耗が減少し、寿命が大幅に向上する。ここで注目すべき点は、デュアルカットホブをドライ加工したときのクレータ摩耗量はウェット加工時と比較して、僅かながら小さくなっていることである。そこで、被削材 SCR420H と S45C のマイクロ組織とウェットおよびドライ加工におけるホブの摩耗状態を図9に示す。SCR420H をドライ加工したときのホブすくい面性状は今まで述べてきたように、付着物が多数存在してクレータ摩耗も非常に浅いのに対して、S45C 調質材をドライ加工したときは付着物の存在もなく、クレータ摩耗は深い。また、被削材のマイクロ組織は大きく異なり、SCR420H はフェライト+パーライトの鮮明な組織であるのに対して、S45C の方は調質という熱処理工程により、材料成分が溶け込みフェライト+ソルバイトといった緻密で強靱な組織が観察できる。この現象および形態は SCM435 においても同様であった。このように熱処理された調質材をドライ加工しても、切り屑組織の変態が行われなため、すくい面の潤滑および保護作用が働かず、切り屑の切削熱がそのままホブの母材に影響を与えてクレータ摩耗を進行させるものと思われる。しかしながら、ドライ加工では切削油材による冷却作用がないため、ホブ切れ刃には切削熱による温度上昇と冷却の繰り返しとい

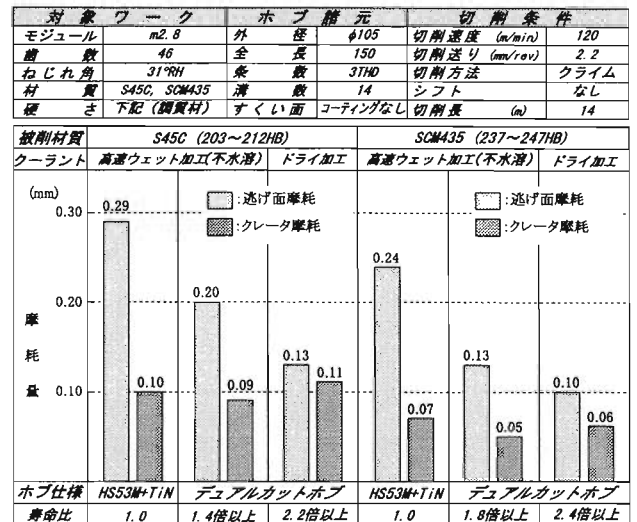


図8 難削材におけるデュアルカットホブの切削性能

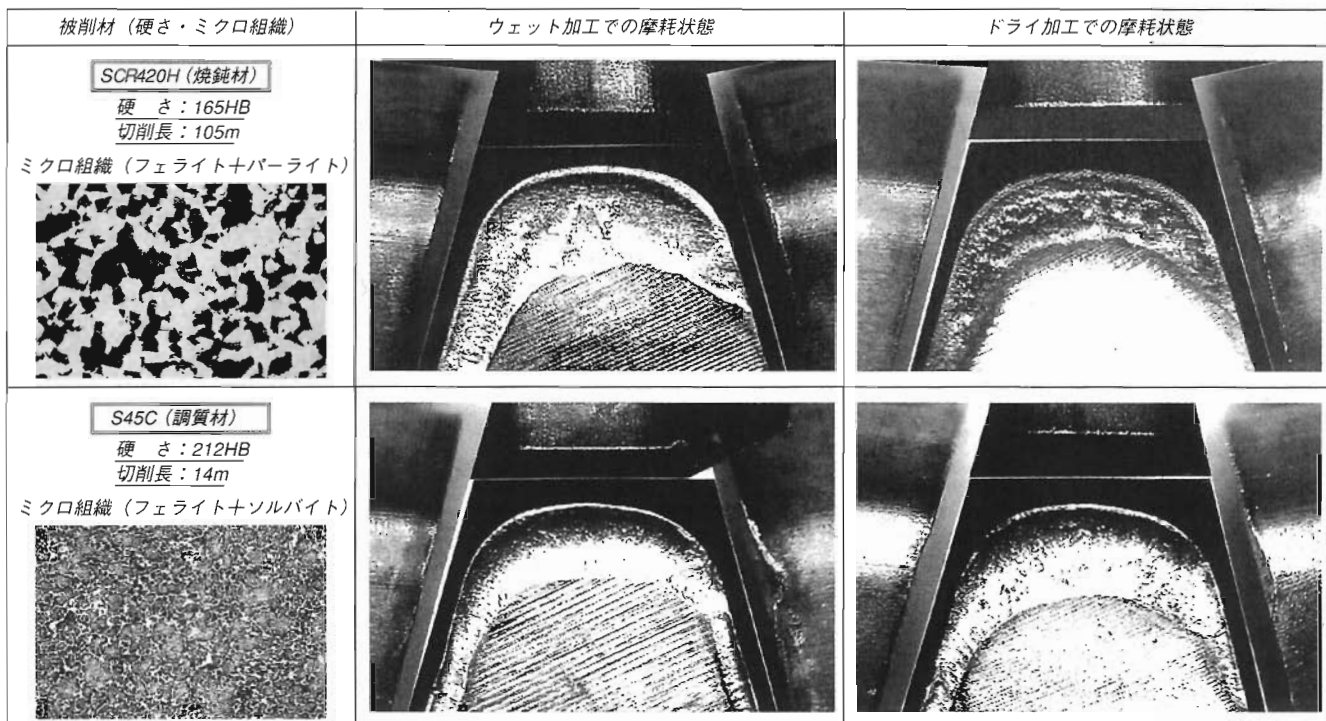


図9 被削材の違いによるホブの摩耗形態

った熱疲労作用がない。そのため、ドライ加工では図9のS45Cの右切れ刃の様にチッピングや欠けといった損傷もなく、安定した摩耗形態となることで同一切削条件のウェット加工と比較して寿命が向上すると考えられる。

以上のように、ドライ加工の切削メカニズムは被削材の材質・マイクロ組織・硬さや切削条件等の影響によって、その現象が異なる。よって、ある歯車をドライ加工するときには、これらの諸条件を十分に調査および確認することが必要である。

5. 今後の展開と課題

昨今、二酸化炭素による地球温暖化や有害物質(ダイオキシン等)による環境破壊等々、我が国の環境問題に対する関心の高まりは著しいものがある。その為、各企業においてもエネルギーの節減や作業環境の改善に対する取り組みが急速に進んできている。この様な背景の中で、①切削油を使用しないので環境に優しい。②高能率加工が可能で生産性が向上する。③寿命向上により工具費が低減する。といった環境対応型の高速度ドライホブ切り加工が確立され、現在では自動車業界を中心として急速に広まってきている。そして、今後とも新設ホブ盤ではドライ仕様機の導入が増え、さらに既存ホブ盤でのドライ対応(改造等)が容易にできるようになれば、トラッ

表1 ドライホブ切り加工における課題

現象	①ホブ: 切り屑(付着、舞上がり、詰まり等) チッピング、異常摩耗 ②ワーク: 切り屑噛込みによる歯面のキズ・溶着端面バリ、温度上昇(OBDの変化)
要因	①歯車諸元(モジュール、歯数、転位係数等) ②被削材(炭素鋼、炭素鋼、調質鋼、硬さ等) ③ホブ諸元(外径、溝数、条数、溝形状等) ④切削条件(切削速度、切削送り、歯切り法等)
設備	①構造: 現有機の改造、熱変位、切り屑処理 ②作業性: エアブローによる騒音、ホブアーバの膨張による段取り性

ク・建設機械・機械部品などの様々な業界にも広く普及していくものと思われる。

しかしながら、このドライホブ切り加工には今様々な課題も残されている。すなわち、従来のウェット加工で使用されている切削油剤は潤滑・冷却・切り屑排出といった役割があるが、ドライ加工ではこの役割が失われる。その為、様々な外的要因の影響を受け易くなり、時として不具合を招くことがある。表1にはドライホブ切り加工の抱える課題を現象と要因と設備に分けて示す。そして今日、表1における現象と要因の因果関係については、ほぼ解明できている為、諸条件の改善により効果を出し、量産ラインでの高い評価を得るまでに至っている。

そして、今後とも加工メカニズム解析を活用し、歯車諸元に応じたホブ形状および加工条件の最適化を提案し、また信頼性の高いホブを提供することで、高速ドライ・ウェット加工の普及促進を図っていく

ことが必要と考える。

6. おわりに

近年、環境改善・生産性向上・コスト低減などの市場要求が高まる中で、新溶解ハイスと新膜コーティングの開発により、ドライホブ切り加工が実用化され普及し始めている。そして、このドライ加工はもとより、高速ウェット加工においても高性能を発揮する新世代デュアルカットホブを開発した。

今後とも、材料・コーティング等の固有技術を向上させ、更に高性能なホブの開発を目指していきたい。また、より高度なドライホブ切り加工技術を蓄積し、高速・高能率加工において信頼性の高いホブを提供し続けることも必要と考える。

また、ホブ以外の環境対応歯車加工工具、例えばシェービングカッタ・フォーミングラック・ブローチ等の要求も高まっており、今後とも、経済性（エコノミー）と環境（Ecology）の両立、すなわち「エコ & ECO」を追求していきたい。

参考文献

- (1) 中河 清；日本機械学会 P-SC256 報告集, 14, p.63-64, (1997)
- (2) Manufacturing Engineering, August, p.104, (1996) 他
- (3) 塚本 裕；先端技術フォーラム'98 名古屋講演集, p.112-113, (1998)
- (4) 飛弾野 文英；環境対応工具について, 不二越技報, 54(2), p.12, (1998)
- (5) 中河 清, 塚本 裕；日本機械学会(生産と加工に関する学術講演会報告集), 99(2), p.159-160, (1999)



塚本 裕

1984年 入社 生産技術にて設備立上げに従事
 1985年 歯切工具の設計業務に従事
 1988年 東京支店にて工具営業技術に従事
 1995年 歯切工具の開発・設計に従事
 現在に至る



谷口 忍

1989年 入社
 工具熱処理課技術係配属
 1992年 コーティング工具の開発に従事
 1997年 歯切工具の開発・設計に従事
 現在に至る