ホブ切りにおける全面コーティング工具の摩耗挙動に 及ぼす水溶性切削油剤の影響*

松岡 寛 憲^{*1}, 小野 肇^{*2}, 津田 吉 広^{*1}

Influence of Water-Soluble Cutting Fluids on Wear Behavior of Fully Coated Tool in Hobbing

Hironori MATSUOKA^{*3}, Hajime ONO and Yoshihiro TSUDA

^{*3} Department of Mechanical and Energy Systems Engineering, Oita University,
700 Dannoharu, Oita-shi, Oita, 870-1192 Japan

In this paper, the wear behavior of (Al, Ti) N fully coated tools was investigated when using two kinds of water-soluble cutting fluids for hobbing, which were compared with city water and dry cutting. Experiments were carried out using a fly tool. The results helped clarify the following points; (1) A water-soluble cutting fluid containing synthetic lubricating additive is effective for the flank wear, which is smaller than that obtained when using the city water only. The flank wear obtained with the dry cutting is smaller than that obtained with the water-soluble cutting fluids tested. (2) The fluid containing synthetic lubricating additive retards the occurrence of crater wear on the coated rake face in comparison with the dry cutting, and its crater wear is also small. (3) It was suggested that the crater wear mechanism of fully coated tool is that first, the delamination and/or the seizure of the coating film caused by thermal fatigue occurs, and after appearing the substrate, the crater wear increased by the abrasive action with the cutting chips.

Key Words: Cutting, Gear, Water-Soluble Cutting Fluid, Hobbing, Fly Tool, Fully Coated Tool, Flank Wear, Crater Wear, Finished Surface Roughness

1. 結 言

近年、切削油剤について、切削性能の向上より、むしろ使用中の作業環境や使用後の廃液処理による環境汚染などの環境問題に対する関心が高まってきている。これらの問題に対して、旋削、フライス加工およびドリル加工などでは水溶性切削油剤がかなり普及してきており、水溶性切削油剤(原液)の生産量は全切削油剤生産量の約40%を占めるようになってきている⁽¹⁾。しかしながら、ホブ切りにおいては、工具摩耗および仕上げ面粗さなどの点から不水溶性切削油剤の使用が主流であり、鋼製歯車の歯切りでの水溶性切削油剤の使用比率は10%程度であると報告されている⁽²⁾。ホブ切りに水溶性切削油剤の使用が可能になれば、ミストや臭気による作業環境の悪化や引火の危険性などの問題が解決されるだけでなく、優れた冷却作用によって、熱膨張による精度低下も少なくなる。

通常、摩耗したホブはすくい面を再研削し、コーティング膜は取り除かれて使用する場合が多い。しかし

ながら、最近では、再コーティング技術の改善やコーティングコストの低下、納期の短縮などにより、再コーティングを施した全面コーティングホブでのホブ切りが可能となってきた。再コーティングを施し、全面コーティングホブの使用が可能になれば、すくい面にコーティング膜がない場合に比べて、切削速度を上げることができ、また工具寿命も延びるため、さらなる生産性の向上が期待できる。

著者らは、ホブ切りを舞いツール切削にシミュレートして、すくい面にコーティング膜がない工具での水溶性切削油剤の効果について調べた結果、従来から使用されているホブ切り用不水溶性切削油よりも、エマルジョン形の水溶性切削油剤は切削性能が良く⁽³⁾、またソリュブル形のエステル系合成潤滑添加剤を含む水溶性切削油剤も有効であることを報告している⁽⁴⁾。しかしながら、全面コーティング工具を使用した場合の水溶性切削油剤の切削性能については未検討であり、すくい面にコーティング膜がない工具と比較して、工具摩耗など、特にコーティング膜が存在する場合のクレータ摩耗の挙動が異なることが予想される。

本研究では、合成潤滑添加剤を含有するエマルジョン形の水溶性切削油剤の効果について、全面コーティング工具の逃げ面摩耗とクレータ摩耗および仕上げ面

* 原稿受付 2005年4月18日。

^{*1} 正員、大分大学工学部(〒870 1192 大分市大字旦野原700)。

^{*2} ユシロ化学工業(株)品質保証部(〒410 1305 静岡県駿東郡小山町湯船1157-2)。

E-mail: hmatsumo@cc.oita-u.ac.jp

粗さの点から検討を行った。

2. 実験方法および実験条件

実験方法としては、ホブ切りをフライス盤での舞いツール切削に置換えて実験を行った。ホブ切りと舞いツール切削との対応性については、不水溶性切削油を使用した場合であるが、両者はほぼ合うことを確認しており⁽⁵⁾、舞いツール切削での実験結果は実機でのホブ切りにも十分適応できるものと思われる。

実験で対象とした歯車はモジュール 3、歯数 42 枚の平歯車で、ホブは 3 条、右巻ホブである。フライス盤の実験条件を表 1 に示す。ホブ材質は高速度鋼工具 SKH 55 相当で、(Al, Ti)N コーティングを、アークイオンプレーティング法により施し、全面コーティングの状態で行った。コーティング膜の厚さは約 5 μm である。被削材はクロムモリブデン鋼 SCM 415 (HB 143) で、その寸法は長さ 500 $\times$ 幅 100 $\times$ 厚さ 100 mm である。切削速度は、すくい面にコーティング膜がない場合の 117 m/min⁽³⁾⁽⁴⁾ よりも速い 159 m/min である。

図 1 に工具刃先の損傷を示す。外周切れ刃の中央摩耗と外周角部摩耗、刃先丸み部と側面切れ刃の境界に生じる角摩耗およびすくい面のクレタ摩耗を測定した。本実験では、フライス盤で溝 50 m を切削したが、これは実験の対象とした歯車 161 個分に相当する。また、クレタ摩耗は、図 2 に示すように舞いツールの

Table 1 The same conditions as in the case of hobbing by fly tool cutting on milling machine

Hobbing		Fly tool cutting on milling machine	
3-thread hob		Feed of table	0.99 mm/rev
Feed of hob	3.0 mm/rev	Depth of cut	3.25 mm
Length of maximum chip	23.57 mm	For cutting corresponding to the gear	
Thickness of maximum chip	0.27 mm	Total number of revolutions (The sum of the approach distance and face width)	315
		Length of groove to be cut	0.31 m

Note : The turning radius of the tip of fly tool is 85 mm.

Fig. 1 Wear at cutting edge

Fig. 2 Measurement position of crater wear

軸に平行に 0.1 mm 間隔で 25 点測定した。仕上げ面粗さは切削溝の底を測定した。使用したフライス盤は日立精機製 2 MF 形 (万能形) である。

実験に使用した市販のエマルジョン形の水溶性切削油剤 (以下、油剤と略称する) の性状を表 2 に示す。油剤 A は合成潤滑添加剤を含む油剤、油剤 B は油剤 A の合成潤滑添加剤の約半分を鉱油で置換えた油剤である。なお、本報で用いる合成潤滑添加剤とは、一般に合成潤滑油の基油などに多用されている有機酸エステルやポリアルキレングリコールなどに限定する。また、水道水およびドライ切削で実験を行い、油剤との比較を行った。油剤は水道水で 30 倍に希釈して、すくい面側より 2.4 l/min の割合で十分に注いだ。

3. 実験結果および考察

3・1 逃げ面摩耗 図 3 に、溝 50 m 切削後の逃げ面摩耗幅の比較を示す。油剤 A および油剤 B を比較した場合、両者とも最大逃げ面摩耗幅 (中央、外周角部および角摩耗のうちの最大) は 0.2 mm 程度を示すが、全体的に見た場合、油剤 A のほうがわずかに摩耗は小さい。油剤中の成分が有効に働いているかを調べるため、水道水だけで実験を行った。その結果、図 3 に

Table 2 Properties of water-soluble cutting fluids tested

Item		Fluid A	Fluid B
Appearance	Original	Yellow liquid	Light yellow liquid
	$\times 30$	White emulsion	White emulsion
Specific gravity (15°C, g/cm ³)	Original	0.945	0.946
pH	$\times 30$	9.4	9.8
Surface tension (mN/m)	$\times 30$	32	32
Synthetic lubricating additive	Original	⊙	○
Mineral oil	Original	—	⊙
Surfural EP additive	Original	—	—
Surface active agent	Original	△	△

— : Free △ : 0 ~ 10% ○ : 10 ~ 30% ⊙ : 30% <

Fig. 3 Comparison of the width of flank wear (cutting length of groove of 50 m)

示すように、水道水の場合、両油剤に比べて逃げ面摩耗は大きくなった。油剤よりも水道水のほうが熱伝導率が高く、冷却性能の点では優れていると思われるが、それよりもむしろ油剤中の合成潤滑添加剤や鉱油の潤滑性能が有効に働いているものと推察される。さらに、ドライ切削の場合、逃げ面摩耗は油剤を使用するよりも小さい。これには熱応力が関係しているものと思われる。すなわち、ホブ切り(舞いツール切削)は断続切削であり、油剤を使用した場合、工具の切れ刃は切削時には切削熱により高温に加熱され、切れ終わった瞬間に、油剤により強制冷却されるため、刃先に加熱と冷却に伴う膨張と収縮の繰返しによる熱応力が発生する。しかしながら、ドライ切削の場合、空転時には空気による冷却であり、油剤に比べて空気の熱伝導率は小さいため、熱応力も小さくなり、摩耗が減少したと思われる。

本実験では、切削温度を測定していないが、油剤 A およびドライ切削の場合の切削温度の違いについて、排出された切りくずの色より推定を行った。図 4 は、油剤 A およびドライ切削の場合、切削始めと溝 50 m 切削後の切りくずを示す。油剤 A の場合、切削始めよりも溝 50 m 切削後の切りくずのほうがうす黄色に変色していることから、切削温度は高いと推定される。これに対しドライ切削の場合、切削始めより紫色の切りくずを排出しており、油剤を用いるよりも切削温度は高く、溝 50 m 切削後には、濃青紫色に変わっていることから、さらに切削温度は高くなっている⁽⁶⁾と思われる。これより、油剤を用いるほうがドライ切削よりも、切削温度が低く、冷却されていることがわかる。

Fig. 4 Comparison of the cutting chips

図 5 は、比較として、切削速度 159 m/min におけるすくい面にコーティング膜がない場合の油剤 A (切削溝 20 m) およびドライ切削 (切削溝 4 m) での逃げ面摩耗を示したものである。図 3 に示すすくい面にコーティング膜がある場合とは逆に、油剤 A を用いた場合にもかかわらず、逃げ面摩耗は小さい。また、この場合のドライ切削では、切削溝長さ 4 m で最大逃げ面摩耗幅は 0.4 mm にも達しており、すくい面にコーティング膜がある場合のドライ切削に比べて、工具寿命は極端に短くなっている。ドライ切削においては、すくい面のコーティング膜の有無が逃げ面摩耗に大きく影響していることがわかる。

さらに、図 3 に示す全面コーティング工具の場合に比べて、すくい面にコーティング膜がない場合に、油剤では角摩耗、ドライ切削では中央、外周角部摩耗が大きく、局部的に大きな摩耗が発生することが特徴的である。以上より、すくい面にコーティング膜がない場合には、油剤を用いるほうが有効である。

図 6 に、全面コーティング工具の最大逃げ面摩耗の経過曲線を示す。油剤 A および油剤 B の場合、切削溝 10 m までは初期摩耗で、摩耗は 0.1 mm 程度まで急激に増加し、溝 50 m 切削後の摩耗幅の約 50% がこの溝長さまでに発生している。それ以降は 0.2 mm まで緩やかに摩耗は増加している。両者とも、ほぼ同

Fig. 5 Comparison of the width of flank wear (without coating on the rake face)

Fig. 6 Progress curves of the maximum flank wear

Fig. 7 Conditions of the top flank wear and the side flank wear (cutting length of groove of 50 m)

じ割合で摩耗は増加しているが、摩耗は油剤 A のほうがわずかに小さい。水道水の場合、切削溝 5 m まで摩耗は急激に増加し、その後は、直線的に増加しているが、油剤に比べて摩耗の増加割合は大きく、切削溝長さが長くなるにつれて油剤との摩耗幅の差が大きくなっている。ドライ切削の場合、初期摩耗も小さく、摩耗は溝 50 m まで漸増している。

図 7 に、外周切れ刃および側面切れ刃の逃げ面摩耗の比較を示す。油剤 A および油剤 B の場合、チッピングあるいはコーティング膜のはく離から発生したと思われる局部的に小さな欠けが確認できる。また、外周切れ刃の逃げ面摩耗では、切れ刃に直角な溝状の摩耗が見られる。これは超硬合金工具に見られるヘアクラックに似ており、超硬合金成分を含むコーティング材質では、前で述べたように、熱応力により発生した摩耗形態も考えられる。水道水の場合、油剤を使用した場合に見られた局部的な小さい欠けは確認されず、摩耗形態としては、潤滑成分の不足による凝着摩耗が支配的であると思われる。また、切れ刃において溶着物を確認しており、加工硬化した溶着物の脱落片が工具を削り取る、いわゆるアブレーションも考えられ、複合的な摩耗形態であると推測される。ドライ切削の場合、切れ刃に平行にほぼ均一な摩耗が発生しており、チッピングなども起こっておらず、摩耗形態はアブレイシブ摩耗と思われる。

3・2 クレータ摩耗 工具すくい面は切りくずと直接接合して高温高压になり、逃げ面と比べて接触面積も広いので、逃げ面と比べて切削油剤の潤滑効果などの性能差が顕著に現れるものと思われ、またクレータ摩耗は工具寿命に及ぼす重要な因子であると考えら

Fig. 8 Comparison of the cutting length of groove when the crater wear occurred

れる。

図 8 は、クレータ摩耗が発生した時点での切削溝長さの比較である。ここで、クレータ摩耗が発生した時点とは、コーティング膜のはく離して母材が露出したときと定義する。油剤 A と油剤 B を比較した場合、油剤 A のほうが、クレータ摩耗の発生が遅い。この理由として、ソリュブル形の水溶性切削油剤を用いて、すくい面にコーティング膜がない場合⁽⁴⁾でも考察したように、油剤 A にはポリアルキレングリコール系の合成潤滑添加剤を多く含んでおり、(Al, Ti)N コーティング膜の存在下においても、ポリアルキレングリコールの潤滑効果が現れたものと思われる。また、曇点以上の温度条件下で析出したポリアルキレングリコールの粘度効果⁽⁷⁾によることも考えられる。さらに、(Al, Ti)N コーティング膜表面には Al_2O_3 が存在し、エステルの加水分解によって生じた脂肪酸のカルボキシル基が Al_2O_3 と反応して、アルミ石けんのような吸着膜を形成しているものと思われる。

一方、油剤 A の合成潤滑添加剤の一部を鉱油で置換えた油剤 B では、クレータ摩耗の発生が早くなっている。鉱油のホブ摩耗に及ぼす影響について、以前、

Fig. 9 Changes of the conditions of the rake face with passage of time

著者の一人がコーティングを施していない工具を用いた場合であるが、水溶性切削油剤中の鉱油が摩耗を大きくすることを報告している⁽⁸⁾。これは、鉱油の熱伝導率は水よりもかなり低い⁽⁹⁾ため、冷却性能が損なわれたためであろう。今回はそれに加え、切削加工の潤滑状態は境界潤滑が主体であり、エーテル系の合成潤滑添加剤が減少したことによる境界潤滑性能の不足が考えられる。

図3に示す逃げ面摩耗についても、鉱油を含む油剤Bはわずかに摩耗を大きくしており、クレータ摩耗においては、その影響が顕著に現れている。水道水の場合、油剤Aに比べてクレータ摩耗の発生は早い⁽⁸⁾が、油剤Bよりも遅い。水道水を用いた場合、すくい面に溶着物が付着しており、これがクレータ摩耗の発生を抑制しているものと思われる。ドライ切削の場合、逃げ面摩耗は小さいが、クレータ摩耗の発生時期は最も早い。以上より、油剤Aを使用した場合に、クレータ摩耗の発生がいちばん遅いことがわかった。

図9は、クレータ摩耗の発生が遅かった油剤Aおよび水道水、ドライ切削において、切削溝25mまでのすくい面状態の経時変化を示す。切削始めの溝長さ0.5mにおいて、切りくずとの接触面(以後、接触面と略す。後にクレータ摩耗となる)では、かすかに変色している程度で、油剤A、水道水およびドライ切削でのすくい面状態の違いは見られない。溝長さ10m切削後では、接触面の跡がさらに鮮明になっているが、水道水の場合、ノーズ丸み部において、局所的なコーティング膜のはく離が見られる。図10は、その写真

Fig. 10 Delamination of the coating film (water, cutting length of groove of 10 m)

の縦線の位置を、粗さ測定器で測定したクレータ摩耗形状である。クレータ摩耗深さは約 $3.5\mu\text{m}$ で、幅は約3mmである。この形状からコーティング膜ははく離しているが、コーティング膜厚は約 $5\mu\text{m}$ であることから母材はまだ現れていないことがわかる。

溝15m切削後では、油剤Aおよび水道水の場合は、接触面の状態は溝10m切削後とほとんど同じであるが、ドライ切削の場合、左右のノーズ丸み部と側面切れ刃との境界付近にクレータ摩耗がすでに発生している。溝20m切削後では、油剤Aおよび水道水の場合にも、接触面の左右の位置にクレータ摩耗が発生しており、ドライ切削の場合は、左右のクレータ摩耗はつながり、広い領域のクレータ摩耗に成長している。溝25m切削後では、油剤Aの場合も、広い領域のクレータ摩耗に成長している。水道水の場合、左右のクレータ摩耗の領域は広がっているが、まだそれらはつながっていない。ドライ切削の場合、溝20m切削後のクレータ摩耗領域とほぼ同じであるが、クレータが深くなっている。

一方、ノーズ丸み部と側面切れ刃との境界付近で発

生したクレータ摩耗は、複雑なクレータの輪郭から、コーティング膜のはく離から発生したものと推定される。この位置でクレータ摩耗が発生し始める理由として、ホブの切れ刃は三つの切れ刃稜を持っており、これら切れ刃稜から出た切りくずは互いに流出方向が異なるため、切りくずの干渉⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾が起こり、この部分では特に高温、高圧になっているためと推察される。

以上より、すくい面にコーティング膜がある場合のクレータ摩耗の発生は、切りくずの繰返し荷重による

熱疲労のため、コーティング膜のはく離が起こり、クレータ摩耗に至っているものと推察される。

溝 50 m 切削後のすくい面の状態および 25 点の測定位置でのクレータ摩耗深さを図 11 に示す。油剤 A の場合、接触面のほぼ全域にクレータ摩耗が発生しているが、切れ刃に沿ってコーティング膜が残っている。また、刃先において、切れ刃にほぼ平行にコーティング膜のはく離が見られる。クレータは接触面の中央および左右の位置で深いところもあるが、ほぼ均一に摩耗している。水道水の場合、接触面の左右の位置でクレータ摩耗が発生しているが、中央部ではクレータ摩耗は発生していないようである。図 12 に、その写真の縦線の位置を、粗さ測定器で測定したすくい面の状態を示す。高さ約 5 μm の溶着物が付着しており、水道水を使用した場合は、溶着物によりクレータ摩耗の発生を抑制しているものと思われる。本実験では、この溶着物の成分分析は行っていないが、広井ら⁽¹²⁾は、構成刃先によって刃先が保護されて工具寿命が長くなる場合があるとしており、本実験でもこの構成刃先の効果が考えられる。また、 MnO_2 などの微細な酸化物は、切削中の工具表面で拡散による摩耗を阻止する保護層(ベラーク)を形成し、それは特定の切削速度範囲(切削温度範囲)で現れる⁽¹³⁾といわれており、本実験条件下においても、このような保護層が形成されているとも考えられる。

ドライ切削の場合、接触面のほぼ全域にクレータ摩耗が発生しているが、油剤 A の場合に比べて切れ刃に沿ってコーティング膜が残っている領域が広い。すなわち、油剤 A に比べて、クレータ摩耗は刃先から離れた位置に発生している。また、刃先において、油剤 A で見られた切れ刃にほぼ平行にコーティング膜のはく離が確認できる。クレータは接触面の左右の位置で深く、さらに、クレータ摩耗面には凹凸があり、溶着物が付着しているように見える。

油剤 A およびドライ切削の場合、刃先において、切れ刃にほぼ平行にコーティング膜のはく離が見られる。この理由として、刃先付近(中央部)のすくい面上

Fig. 11 Conditions of the rake face and the depth of the crater wear at each position (cutting length of groove of 50 m)

Fig. 12 Deposited metal on the rake face (water, cutting length of groove of 50 m)

では、他の切れ刃位置に比べて厚い切りくずを排出するため、コーティング膜は切りくずのより大きな摩擦抵抗を受け、切りくずの流れる方向、すなわち、刃先に直角に摩擦応力(接線応力)を受けるものと思われる。そのため、切れ刃にほぼ平行にコーティング膜のはく離が起こるものと推察される。水道水の場合、すくい面に溶着物が付着したため、切れ刃にほぼ平行なコーティング膜のはく離は確認できなかった。

図 13 は、溝 50 m 切削後のクレータ摩耗深さの比較である。クレータ摩耗の最大深さ(測定位置 25 点の中の最大)および平均値(測定位置 25 点の平均)を示す。油剤 A と油剤 B を比較した場合、油剤 A のほうがクレータ摩耗は小さい。この理由についても、上で述べたように、油剤 A に含まれるポリアルキレングリコール系の合成潤滑添加剤の潤滑効果によるものと思われる。水道水の場合、クレータ摩耗は油剤 A よりも大きい、油剤 B に比べて小さい。水道水を用いた場合は、クレータ摩耗には潤滑性能よりも、溶着物の影響が大きいと思われる。ドライ切削の場合、クレータ摩耗は油剤 B および水道水よりも小さいが、油剤 A よりも大きい。逃げ面摩耗においてドライ切削は有効であったが、逃げ面に比べて高温、高圧になるすくい

Fig. 13 Comparison of the depth of crater wear (cutting length of groove of 50 m)

Fig. 14 Profiles of the maximum crater wear (cutting length of groove of 50 m)

面では、潤滑性能の優れた油剤が有効である。

図 14 に、溝 50 m 切削後の最大クレータ摩耗形状を示す。油剤 A の場合、クレータ摩耗は刃先から少し離れた位置(図 11 参照)に発生しており、滑らかな形状を示している。油剤 B の場合、クレータの底に溶着物の付着と思われる段が付いている。水道水の場合、溶着物の付着は見られないが、他のクレータ摩耗の測定位置では、溶着物の付着が見られる。ドライ切削の場合も、クレータ摩耗は刃先から少し離れた位置に発生しており、クレータの底に溶着物の付着したような突起物が見られる。

3.3 仕上げ面粗さ 図 15 に、仕上げ面粗さ R_y の経過曲線を示す。油剤 A の場合、切削溝 5 m までは仕上げ面粗さ R_y は $2.0 \mu\text{m}$ 程度であるが、それ以後は切削終了まで理論粗さ値 $R_y = 1.4 \mu\text{m}$ とほぼ同じ値を示し、粗さは良好である。油剤 B の場合、切削溝 10 m までは仕上げ面粗さ R_y は $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$ を示し、切削溝 30 m までは減少する傾向があるが、その後は増加し、切削終了の溝長さ 50 m 切削後では R_y は $4.3 \mu\text{m}$ の値を示した。水道水の場合、切削溝 15 m まで

Fig. 15 Progress curves of the surface roughness

Fig. 16 Profiles of the finished surface

は仕上げ面粗さ R_a は $2.0 \mu\text{m}$ 程度であるが、それ以後は切削終了まで理論粗さ値とほぼ同じ値を示し、良好である。仕上げ面粗さには、溶着物の影響が大きいと考えられ、水道水の場合、工具すくい面に溶着物の付着が確認され、仕上げ面粗さは大きくなるものと思われたが、これに反して、粗さは小さくなった。この理由として、図 12 に示すすくい面の溶着物の付着状態より、切れ刃より離れた場所に溶着物が付着しており、粗さに影響する刃先には溶着物が付着していないためであると推察される。ドライ切削の場合、切削初期の切削溝 2 m では、仕上げ面粗さ R_a は理論粗さと同じ値を示すが、その後切削終了まで増加する傾向があり、溝 50 m 切削後では $R_a = 4.5 \mu\text{m}$ となり、いちばん大きな値を示した。以上の結果より、仕上げ面粗さは、合成潤滑添加剤だけを含む油剤 A を使用した場合に良好であることがわかった。

図 16 は、油剤 A およびドライ切削の場合の仕上げ面の粗さ形状を示す。切削始めと溝 50 m 切削後の粗さ形状である。油剤 A の場合、切削始めにおいて、粗さの高低が見られるが、ほぼ送り量 (0.99 mm/rev) と同じ間隔で、回転マークがはっきり確認できる。溝 50 m 切削後においても、粗さは少し大きくなった程度であるが、回転マークも確認でき、肉眼で見ても仕上げ面は良好である。ドライ切削の場合、切削始めにおいて、理論粗さ形状とほぼ同じ形状を示しているが、溝 50 m 切削後では、回転マークは確認されるものの、のこぎり状の粗さ形状を示しており、大きな粗さとなっている。仕上げ面粗さには、主として工具摩耗および溶着物の付着が関係していると思われるが、本実験でのドライ切削の場合、図 3 に示す逃げ面摩耗は小さいことから、粗さには溶着物の付着が影響しているものと思われる。

4. 結 言

ホブ切りをシミュレートした舞いツール切削において、水溶性切削油剤 2 種を、水道水およびドライ切削の場合と比較して、全面コーティング工具の逃げ面摩耗、クレータ摩耗および仕上げ面粗さについて調べた結果、次のことが明らかになった。

(1) 逃げ面摩耗について、合成潤滑添加剤だけを含む油剤が有効であり、水道水は油剤に比べて逃げ面摩耗を大きくする。ドライ切削のほうが油剤を用いるよりも逃げ面摩耗は小さい。これには熱応力が関係しているものと思われ、ドライ切削の場合、空転時には空気による冷却であり、油剤に比べて空気は熱伝導率は小さいため、熱応力も小さくなり、摩耗が減少する

ことが示唆された。

(2) クレータ摩耗について、ドライ切削に比べて合成潤滑添加剤だけを含む油剤を使用した場合に、クレータ摩耗の発生が遅く、またクレータ摩耗も小さい。逃げ面に比べて高温、高压になるすくい面では、潤滑性能が支配的であることが示唆された。

(3) クレータ摩耗の発生は、まず、コーティング膜は熱疲労によりはく離が起り、母材が現れた後、切りくずが擦るために、クレータ摩耗は深くなる。また、水道水を使用した場合、クレータ摩耗には溶着物が影響していることが示唆された。

(4) 仕上げ面粗さについて、ドライ切削に比べて油剤を用いたほうが有効であり、合成潤滑添加剤だけを含む油剤を使用した場合に、仕上げ面粗さはいちばん小さい。

(5) 逃げ面摩耗は、ドライ切削のほうが有利であるが、クレータ摩耗および仕上げ面粗さを総合的に見た場合に、合成潤滑添加剤だけを含む油剤はドライ切削よりも有効である。

今後、水溶性切削油剤を使用した場合の工具摩耗の発生機構を解明するために、油剤とコーティング工具との反応性および油剤の腐食性について検討することが課題である。

終わりに、本研究に対し切削工具を提供していただいた三菱マテリアル神戸ツールズ(株)に謝意を表する。

文 献

- (1) 切削油技術研究会編、切削油剤の上手な使い方—生産性と環境のバランスを考える—、切削油技術研究会総会資料、(2001)、11 25.
- (2) 切削油技術研究会編、ドライ、ミスト、ウェット加工の実態を探る—ドライ加工はどこまで可能か—、切削油技術研究会総会資料、(2000)、2 12.
- (3) 松岡寛憲・小野塚・津田吉広、機論、**68** 671, C (2002)、2188 2195.
- (4) 松岡寛憲・小野塚・津田吉広、精密工学会誌、**69** 1 (2003)、110 114.
- (5) 甲木昭・松岡寛憲、大分大学工学部研究報告、**23** (1991)、7 13.
- (6) 藤村善雄、実用切削加工法、(1991)、172 175、共立出版。
- (7) Brown, W. L., *Lubricat. Eng.*, **44** 3 (1988)、168 175.
- (8) 甲木昭・上野拓・松岡寛憲・小原正男、機論、**50** 456, C (1984)、1530 1539.
- (9) 日本熱物性学会編、熱物性ハンドブック、(1990)、114 119、養賢堂。
- (10) 河相浩・鳥居信良・沢幸雄、工芸技報(神戸製鋼所)、No. 22 (1974)、14 26.
- (11) 日高一憲・上野拓・寺島健一、機論、**45** 389, C (1979)、126 136.
- (12) 広井進・山中康夫、切削油剤と研削油剤、(1982)、4 7、幸書房。
- (13) 会田俊夫・井川直哉・岩田一明・岡村健二郎・中島利勝・星鐵太郎、切削工学、(1973)、314 315、コロナ社。