ホブ切り用水溶性切削油剤に関する基礎的研究*

(第2報, 各種エマルジョンの切削性能)

松岡 寛 憲^{*1}, 小野 肇^{*2}, 津田 吉 広^{*1}

Fundamental Research on Water-Soluble Cutting Fluids for Hobbing (2nd Report, Cutting Performance of Various Emulsions)

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 performance of various emulsions in water-soluble cutting fluids for hobbing was investigated with TiN and (Al, Ti)N coated tools, in terms of flank wear, crater wear and finished surface roughness. Experiments were carried out using a fly tool. The results helped clarify the following points; (1) With both TiN and (Al, Ti)N coated tools, an emulsion containing synthetic lubricating additive is effective for decreasing the flank wear and the crater wear, irrespective of the change in the cutting speed. (2) It was suggested that a polyalkyleneglycols contained in the emulsion has a tool wear reduction effect, and the reason why the decrease of the crater wear when using the emulsion is due to the protective action by the deposited metal on the rake face. (3) There was no difference in the finished surface roughness obtained with the various emulsions even when changing the cutting speed. (4) In the view point of the tool wear and the surface finish, the emulsion containing synthetic lubricating additive is available for the (Al, Ti)N coated tool in hobbing.

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

1. 緒 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。

著者らは, 前報⁽³⁾において, 鉱油を主な潤滑成分とする一般切削加工用水溶性切削油剤(はん用エマルシ

ョン)の効果について, ホブ切り用不水溶性切削油との比較検討を行った。その結果, (1)TiN コーティング工具の場合, 切削速度86~117 m/minまでは水溶性切削油剤は不水溶性切削油よりも工具寿命を向上するが, 高速の159 m/minでは不水溶性切削油より劣る。また, (Al, Ti)N コーティング工具の場合, 切削速度を変えても水溶性切削油剤は不水溶性切削油よりも工具寿命を向上する。(2)切削速度86 m/minにおいて, 両工具とも, 水溶性切削油剤は不水溶性切削油と比べてほぼ同程度の小さな仕上げ面粗さを示す。また, 117 m/minおよび159 m/minにおいては, 両工具とも, 水溶性切削油剤は切削始めにおいて粗さを大きくするが, 切削終わりでの仕上げ面粗さは3 μm程度と良好である。(3)工具寿命および仕上げ面粗さから, (Al, Ti)N コーティング工具を用いた場合, 水溶性切削油剤は不水溶性切削油よりも有効である, などの知見が得られた。

本報では, 各種の潤滑添加剤を含有する水溶性切削油剤(エマルジョン形)の切削性能について, 工具摩耗および仕上げ面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

* 原稿受付 2005年9月28日。

^{*1} 正員, 大分大学工学部 (〒870-1192 大分市大字巨野原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

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、両者はほぼ合うことを確認しており⁽⁴⁾、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とホブの諸元を表1に、フライス盤での実験条件を表2に示す。ホブ材質は高速度鋼 SKH 55 相当で、TiN および (Al, Ti)N コーティング [以下 TiN 工具および (Al, Ti)N 工具と略称する] を、アーキオンプレーティング法により、それぞれ施した。現場ではすくい面を再切削して使用する場合が多いので、すくい面にコーティング膜がない状

態で実験を行った。両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×幅 100×厚さ 100 mm である。切削速度は 117 m/min および 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ータ摩耗を測定した。本実験では、TiN 工具および (Al, Ti)N 工具で切削速度 117 m/min の場合、溝長さ 25 m (実験で対象とした歯車約 81 個分に相当) を切削した。また TiN 工具で 159 m/min の場合、逃げ面摩耗の増加が大きかったので、溝長さ 3 m (歯車約 10 個分) だけを切削し、(Al, Ti)N 工具で 159 m/min の場合、溝長さ 10 m (歯車約 32 個分) を切削した。クレータ摩耗は、図2に示すように舞いツールの軸に平行に 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ション形水溶性切削油剤 (以下、油剤と略称する) の性状を表3に示す。油剤 A (記号: Fluid A) は硫黄系極圧添加剤を含む油剤、油剤 B (Fluid B) は合成潤滑添加剤を含む油剤、油剤 C (Fluid C) は油剤 B の合成潤滑添加剤の約半分を鉱油で置換えた油剤、油剤 D (Fluid D) は油剤 C に少量の硫黄系極圧添加剤を加えた油剤である。なお、市販の潤滑添加剤の大半は化学合成品であり、例えば硫黄系極圧剤などもその一つといえるが、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

Table 1 Dimensions of the gear and hob

Gear		Hob	
Module	3	Module	3
Pressure angle	20°	Pressure angle	20°
Number of teeth	42	Lead angle	4° 35' 18"
Helix angle	0°	Form	3-thread, Right hand
Pitch diameter	126 mm	Size	$\phi 118 \times 125 \times \phi 40$
Face width	40 mm	Rake angle	0°
Cutting depth	6.75 mm	Relief angle	12°
Tooth profile	Full depth tooth	Number of gashes	12
		Gash	Straight

Table 2 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.

Table 3 Property of water-soluble cutting fluids tested

Item		Fluid A	Fluid B	Fluid C	Fluid D
Appearance	Original	Dark green liquid	Yellow liquid	Light yellow liquid	Dark green liquid
	× 30	Light green emulsion	White emulsion	White emulsion	Light green emulsion
Specific gravity (15°C, g/cm ³)	Original	1.012	0.945	0.946	0.950
pH	× 30	9.3	9.4	9.8	9.6
Surface tension (mN/m)	× 30	32	32	32	32
Synthetic lubricating additive	Original	—	⊙	○	○
Mineral oil	Original	—	—	⊙	⊙
Sulfuric EP additive	Original	⊙	—	—	△
Surface active agent	Original	△	△	△	△

—: Free △: 0~10% ○: 10~30% ⊙: 30%<

Fig. 1 Wear at cutting edge

Fig. 2 Measurement position of crater wear

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。各油剤は水道水で 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

本実験での再現性を確かめるためいくつかの条件で 2 回実験を行ったが、各逃げ面摩耗の再現性は良好であった。図 3 は、一例として切削速度 117 m/min において、油剤 D を用いて、TiN 工具で切削した場合の角摩耗および中央摩耗の進行状態の再現性を調べたものである。それぞれの逃げ面摩耗幅はほぼ同じである。

3・1 逃げ面摩耗 図 4 に、切削速度 117 m/min において TiN 工具を用いた場合の各油剤の性能差を示す。切削溝長さは 25 m である。油剤 A と油剤 B を比較した場合、油剤 B のほうが逃げ面摩耗は小さく、合成潤滑添加剤は硫黄系極圧添加剤よりも性能を発揮している。硫黄の効果は鉄表面での硫化鉄の形成によるものといわれており、TiN 表面では効果が現れにくいものと考えられる。油剤 B は 4 種類の油剤の中ではポリアルキレングリコール系の合成潤滑添加剤を最も多く含んでおり、その粘度効果⁽⁵⁾が現れたもの

のと思われる。また、ポリアルキレングリコールを含む油剤は鉱油系のエマルジョンと比べて冷却効果が高いことも報告されている⁽⁶⁾。油剤 B の合成潤滑添加剤の一部を鉱油で置換えた油剤 C では、油剤 B と比べて逃げ面摩耗は増加している。鉱油のホブ摩耗に及ぼす影響について、以前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、エマルジョン形 watersoluble cutting oil 中の鉱油が摩耗を大きくすることを報告している⁽⁷⁾。これは、鉱油の熱伝導率は水よりもかなり低い⁽⁸⁾、冷却性が損なわれたためであろう。油剤 C と油剤 D を比較した場合、逃げ面摩耗はほぼ同じであり、硫黄系極圧添加剤の少量添加効果はあまり現れていない。

図 5 に、(Al, Ti)N 工具を用いた場合の各油剤の性能差を示す。切削溝長さは 25 m である。TiN 工具の場合と同様な序列を示し、油剤 B が逃げ面摩耗を最も小さくする。TiN 工具の場合に比べて摩耗幅が小さく、特に中央摩耗および外周角部摩耗は半分に減少している。また、比較の基準として、前報⁽⁹⁾において性能が良かったホブ切り用不 watersoluble cutting oil (Oil A、脂肪油分 7.3%、塩素分 6.6%、硫黄分 0.5%) の逃げ面摩耗幅も併せて示す。この不 watersoluble cutting oil と比較して、実験した 4 種類すべての油剤は摩耗幅を低減し、特に油剤 B は効果があることがわかる。

図 6 は切削速度 159 m/min で TiN 工具を用いた場合の性能差を示す。溝長さ 3 m 切削後での比較である。切削速度 117 m/min の場合と同様な序列を示し、合成潤滑添加剤を含む油剤 B が逃げ面摩耗に有効である。しかしながら、159 m/min の場合は、角摩耗に比べて中央摩耗および外周角摩耗が大きいことが特徴的である。この理由として、外周切れ刃の中央部では厚い切りくずを削り出すため⁽⁹⁾、高速になると切削温度が高くなり、(Al, Ti)N 工具に比べて耐熱性に劣る TiN 工具の場合、外周切れ刃の中央付近から損傷が進むものと思われる。

Fig. 3 Reproducibility of the flank wear (Fluid D, TiN coated tool, cutting speed of 117 m/min)

Fig. 4 Comparison of the flank wear (TiN coated tool, cutting length of groove of 25 m, cutting speed of 117 m/min)

Fig. 5 Comparison of the flank wear [(Al, Ti)N coated tool, cutting length of groove of 25 m, cutting speed of 117 m/min]

図7は、(Al, Ti)N 工具を用いた場合である。溝長さ 10 m 切削後での比較である。切削速度 117 m/min の場合と同様な序列を示し、油剤 B が逃げ面摩耗に有効である。図6に示す TiN 工具の場合に比べて、切削溝長さが3倍以上長くなっているにもかかわらず摩耗幅は小さく、特に中央摩耗および外周角部摩耗は3分の1から4分の1に減少している。また、不水溶性切削油(OilA)を用いた場合の逃げ面摩耗幅と比較して、油剤 B での摩耗幅はほぼ同程度であり、高速においても水溶性切削油剤は有効である。

以上より、コーティング材質および切削速度を変えても、合成潤滑添加剤を含む油剤 B が逃げ面摩耗に対して有効であることがわかった。水溶性切削油剤、特にエマルションの性能については、潤滑成分の量だけではなく乳化状態も大きな要因となる。例えば、エマルションを安定化させると切削性能が低下する場合が多いことが経験的に知られている。これは油剤中での被乳化体(潤滑成分)が過度に安定化されることにより、切削面(摩擦表面)上での潤滑成分濃度が低下するためと考えられる。このような観点からも、今後詳細な検討をする必要がある。

各切削速度において、TiN 工具よりも(Al, Ti)N 工具のほうが逃げ面摩耗は小さい。この理由として、

表4に示すように、TiN コーティング膜に比べて(Al, Ti)N コーティング膜のほうが硬さが高く、耐酸化性にも優れているためであると考えられる。

3・2 逃げ面摩耗形態 図8に、油剤 B と油剤 D を用いた場合の切削速度 117 m/min、および 159 m/min での TiN 工具の最大逃げ面摩耗を例示する。切削速度 117 m/min において、両油剤ともよく似た摩耗形態をしており、摩耗幅はほぼ均一であるが、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。切削始めにおいて溶着物の付着が確認されたが、その後は溶着物の発生が少なくなっており、溶着物による影響は少ないと思われ、摩耗形態としてはアプレシブ摩耗が支配的であると思われる。これに対して高速の 159 m/min では、両油剤とも外周切れ刃の中央部に大きな摩耗が発生しており、すくい面には多量の溶着物が付着している。またその溶着物は逃げ面摩耗部にも流れ込んで付着しており、高速になると摩耗形態は凝着摩耗が支配的であると思われる。摩耗形態としては、溶着物がはがれ落ちるとき、工具材内部をはぎとる転移形の摩耗⁽¹⁰⁾、あるいは溶着摩耗⁽¹¹⁾であると思われる。また、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⁽¹²⁾も考えられ、複合的

Fig. 6 Comparison of the flank wear (TiN coated tool, cutting length of groove of 3 m, cutting speed of 159 m/min)

Fig. 7 Comparison of the flank wear [(Al, Ti)N coated tool, cutting length of groove of 10 m, cutting speed of 159 m/min]

Table 4 Characteristics of the coated films

Coated film	Vickers hardness HV	Oxidation temperature °C
TiN	1800 ~ 2000	600 ~ 700
(Al,Ti)N	2700 ~ 2900	800 ~ 900

Fig. 8 Conditions of the maximum flank wear (TiN coated tool)

な摩耗形態であると推測される。各速度における油剤 A および油剤 C についても同様な摩耗形態を示した。

(Al, Ti)N 工具の場合を図 9 に示す。切削速度を変えても、両油剤とものごぎり刃状の摩耗が見られ、この局部的に大きな摩耗(図中のだ円で示す摩耗)が寿命を決定している。これらの切削速度では、切削始めにおいて溶着物の付着を確認しており、溶着物が脱落する際に局部的にコーティング膜および母材を持ち去った可能性が高いと推測される。また、刃先から離れた側面切れ刃に大きな摩耗が発生する傾向がある。油剤 A および油剤 C の場合も同様な摩耗形態である。

以上より、逃げ面摩耗の形態の違いは、油剤の違いよりもむしろコーティング材質の違いによって大きく異なる結果となり、油剤間の差は明りょうには現れなかった。

3.3 クレータ摩耗 工具すくい面は切りくずと直接接触过高温高压になるため、逃げ面と比べて切削油剤の潤滑効果などの性能差が大きく現れるものと思われる。また、クレータ摩耗の縁の決壊によって逃げ面に角摩耗が発生するという説⁽¹³⁾があり、クレータ摩耗も工具寿命に及ぼす重要な因子である。

図 10 に、切削速度 117 m/min において各油剤を用いた場合の TiN 工具のクレータ摩耗深さの比較を示す。溝 25 m 切削後のクレータ摩耗深さの最大値(図 2 に示す測定位置 25 点の中の最大)、および平均値(測定位置 25 点の平均)の比較である。逃げ面摩耗と同様に、油剤 B が比較的良好な結果を示している。図 11 に、(Al, Ti)N 工具の場合を示す。TiN 工具と同様な傾向を示し、油剤 B を使用した場合にクレータ摩耗は最も小さい。各油剤とも、TiN 工具よりも(Al,

Ti)N 工具のほうがクレータ摩耗は小さい傾向がある。また、高速の 159 m/min においては、両工具ともすくい面に溶着物が多量に付着したため、クレータ摩耗の測定はできなかった。

図 12 に、切削速度 117 m/min において、比較的クレータ摩耗深さの差が大きかった TiN 工具での油剤 A および油剤 B を用いた場合、舞いツール中央の位置でのクレータ摩耗形状の経時変化を例示する。油剤 A の場合、切削始めの切削溝 0.5 m において、切りくずとの接触面のほぼ半分の領域に溶着物が付着しており(図 13 参照)、クレータ摩耗が発生しているかどうかは確認できない。切削溝 10 m まではクレータ摩耗の発生は確認できるが、クレータの中央部に溶着物が付着しており、実際のクレータ摩耗深さは測定できない。溝 15 m では溶着物の付着量は減少するが、クレータ上に溶着物が付着している可能性がある。溶着物の付着の有無については、前報⁽³⁾においてクレータ摩耗断面を調べたところ、明らかに工具母材に溶着物が付着していることがわかっている。溝 25 m では刃先が削られ後退し、クレータ摩耗はさらに深くなっている。

これに対して油剤 B の場合、切削溝 15 m まではクレータ部の中央部に溶着物が付着しており、油剤 A の場合と比べてクレータは浅く、溝 25 m においても

Fig. 9 Conditions of the maximum flank wear [(Al, Ti)N coated tool]

Fig. 10 Comparison of the depth of crater wear (TiN coated tool, cutting length of groove of 25 m, cutting speed of 117 m/min)

Fig. 11 Comparison of the depth of crater wear [(Al, Ti)N coated tool, cutting length of groove of 25 m, cutting speed of 117 m/min]

Fig. 12 Changes of profiles of the crater wear at the center (TiN coated tool, cutting speed of 117 m/min)

溶着物がクレータ表面を覆っているように見える。油剤 C と油剤 D、および (Al, Ti)N 工具で各油剤を用いた場合も同様なクレータ摩耗が発生していた。クレータ摩耗の発生機構として、まず溶着物がすくい面に付着し、それが一定程度の溝長さまで成長を続け、クレータ摩耗の進行を防いでいるものと推察される。

一般に、すくい面の溶着物は油剤に添加剤が少ないほど堆積しやすい。これは次のような理由によるものと考えられる。削り取られた直後の微小な切りくずの表面は反応性が高い新生面であり、また、切りくずと接触している工具のすくい面にも同様の新生面が出現しているため、切りくずは容易に工具-すくい面に溶着する。油剤中に添加剤が含まれていると、それはただちに工具や切りくずの新生面と反応し、反応被膜を形成する。油剤 A の場合、前述したように硫黄系極圧添加剤により、硫化鉄の被膜が形成される。この被膜が工具と切りくずの溶着を防ぎ、結果として切りくずは工具に再付着せずに排出されることになる。油剤 B にはエステル系の合成潤滑添加剤が含まれているが、これは摩擦面に脂肪酸の吸着膜、すなわち金属石けんを形成するタイプのものである。金属石けんは硫化鉄に比べて低融点であり融解しやすいため、高温高压にさらされる工具-すくい面には吸着膜が残存しにくい。そのため、油剤 A よりも切りくずが溶着して残りやすく、クレータ摩耗の進行を抑制しているものと

Fig. 13 Condition of the rake face (Fluid A, TiN coated tool, cutting length of groove of 0.5 m, cutting speed of 117 m/min)

推察される。

溶着物の有益な働きとして、広井ら⁽¹⁴⁾は、工具刃先に付着した構成刃先のために実際のすくい角は大きくなったのと同じ結果を示し、切削抵抗が小さくなり、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。

図 14 に、切削速度 117 m/min において、クレータ摩耗深さに大きな差が見られた油剤 A および油剤 B を用いた場合の、TiN 工具のすくい面の状態および各測定点でのクレータ摩耗深さを示す。切削溝長さは 25 m である。油剤 A の場合、刃先付近では切りくず

によるこすり跡(以下、こすり跡と略す)がはっきりと確認でき、切れ刃から離れた場所では、溶着物の付着のような跡が見られる。油剤 B の場合も同様に、刃先付近ではこすり跡が確認できるが、切れ刃から離れた場所に溶着物が付着している。全体的に油剤 B のほうが、溶着物が付着している面積は広いように見える。また両油剤の工具中央部での切りくずとの接触長さを比較した場合、油剤 B のほうが接触長さは短く、施盤での外丸削りにおいて、切りくず接触長さが短いとせん断角は大きくなる⁽¹⁵⁾ ことが明らかにされており、理論的にも切りくず接触長さが短いほうが切削は良好である。両油剤とも、すくい面中央部においてクレータ摩耗が最も深く、クレータの両端では浅くなっている。

図 15 は、図 14 におけるすくい面中の縦線の位置ではクレータ摩耗形状を示す。両油剤ともに溶着物の付着が確認され、クレータ部を覆っていることがわか

Fig. 14 Condition of the rake face and depth of the crater wear at each position (TiN coated tool, cutting length of groove of 25 m, cutting speed of 117 m/min)

る。また、油剤 A の場合刃先は削り取られて消失しているが、油剤 B の場合はある程度刃先は残っており、油剤 B のほうがクレータ摩耗低減効果がある。

3・4 仕上げ面粗さ 図 16 に、TiN 工具を用いた場合の各切削速度における仕上げ面粗さ R_y の経過曲線を示す。切削速度 117 m/min において、各油剤とも切削溝 10~15 m までは仕上げ面粗さ R_y は 20~30 μm と大きな値を示すが、その後粗さは急激に減少し、理論粗さ $R_y=1.4 \mu\text{m}$ に近い値を示す。この理由としては、図 12 に示すような溶着物の付着が関係していると思われる。すなわち、すくい面に溶着物が付着している間は粗さは大きく、溶着物の発生量が

Fig. 15 Profiles of the crater wear (TiN coated tool, cutting length of groove of 25 m, cutting speed 117 m/min)

Fig. 16 Progress curves of the surface roughness (TiN coated tool)

減少すると急激に粗さは小さくなり、肉眼的にも仕上げ面は良好となる。溶着物が減少する理由は、ある程度クレータ摩耗が深くなった場合すくい角が大きくなり、切りくずの流れをスムーズにし、溶着物が発生しにくい温度になったためと推察される。

これは、切削始めにおいて溶着物が発生しており、切りくずに付着した溶着物により、切りくずが3、4個連なって排出される。しかしながら、仕上げ面粗さが急激に小さくなった後は溶着物の発生が少なくなり、切りくずは1個、1個排出することから、溶着物の発生には切削温度が関係していることがわかる。また図10に示すクレータ摩耗深さの結果と比較した場合、クレータ摩耗が大きい油剤のほうが、急激に仕上げ面粗さが小さくなる切削溝長さが短く、ある程度相関が見られる。高速の159 m/minでは、各油剤とも溶着物が多い切削初期で実験が終了したため、粗さは10~30 μm と大きく、油剤による差はあまり認められない。

図17は、(Al, Ti)N工具の場合である。切削速度117 m/minにおいて、各油剤とも切削始めでは粗さ R_y は25~35 μm と大きな値を示すが、その後減少する傾向にあり、油剤Aおよび油剤Bでは溝25 mにおいて、また油剤Cでは溝15 mにおいて粗さは激減し、それ以降は理論粗さとほぼ同じ値を示し、粗さは良好となる。TiN工具と比較して、(Al, Ti)N工具の場合に油剤の傾向が明りょうにはあまり現れていないようで、これは(Al, Ti)N工具の刃先付近に溶着物が付

着しにくい(図9参照)ためであると考えられる。高速の159 m/minでは、切削終了の溝10 mまでほぼ油剤の序列を保っており、油剤の中では油剤Dを用いた場合に粗さは小さい。

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切削速度を変え、TiN工具および(Al, Ti)N工具を使用した場合、4種類のエマルションの性能を逃げ面摩耗、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、TiN工具、(Al, Ti)N工具とともに切削速度を変えても合成潤滑添加剤を含むエマルションが有効であり、含有するポリアルキレングリコール系の合成潤滑添加剤の冷却効果が示唆された。

(2) クレータ摩耗についても、合成潤滑添加剤を含むエマルションが有効であり、適度な溶着物の付着がすくい面を保護し、クレータ摩耗の進行を防いでいることが示唆された。

(3) 仕上げ面粗さについては、切削速度117 m/minにおいて、各油剤は両コーティング工具に対して切削始めでは粗さを大きくするが、切削を続けると急激に溶着物が減少し、粗さが小さくなる領域が存在するが、高速では油剤間の差は明りょうではない。

(4) 工具摩耗および仕上げ面粗さを総合的に見た場合、TiN工具および(Al, Ti)N工具に対して合成潤滑添加剤を含むエマルションが有効である。

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神戸ツルズ(株)に謝意を表す。

文 献

- (1) The Society of Cutting Fluids & Cutting Technology, The approach to Optimum Use of Cutting Fluids, *Text of the General Meeting of the Society of Cutting Fluids & Cutting Technology* (in Japanese), (2001), pp. 11-25.
- (2) The Society of Cutting Fluids & Cutting Technology, Present Technical Level of Dry, Mist and Flood Lubrication Cuttings, *Text of the General Meeting of the Society of Cutting Fluids & Cutting Technology*, (in Japanese), (2000), pp. 2-12.
- (3) Matsuoka, H. et al., Fundamental Research on Water-Soluble Cutting Fluids for Hobbing (1st Report, Comparison of Performance with Water-Insoluble Cutting Oils), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 68, No. 671 (2002), pp. 2188-2195.
- (4) Katsuki, A. and Matsuoka, H., Correspondence in Tool Wear between Hobbing and Cutting Using a Fly-Tool.

Fig. 17 Progress curves of the surface roughness [(Al, Ti)N coated tool]

- Reports of the Faculty of Engineering Oita University*, Vol. 23 (1991), pp. 7-13.
- (5) Brown, W. L., The Role of Polyalkylene Glycols in Synthetic Metalworking Fluids, *Lubrication Engineering*, Vol. 44, No. 3 (1988), pp. 168-175.
 - (6) Kuroi, N., Waste Water Treatable Synthetic Cutting Fluids, *Tool Engineer*, Vol. 41, No. 9 (1997), pp. 22-26.
 - (7) Katsuki, A. et al., Research on Soluble Cutting Fluids for Gear Cutting (2nd Report, The Influence of Dilution Ratio and Effect of Synthetic Fluids), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 50, No. 456 (1984), pp. 1530-1539.
 - (8) Japan Society of Thermophysical Properties, *Thermophysical Properties Handbook*, (1990), p. 114, Yokendo.
 - (9) Terashima, K. and Ueno, T., Numerical Analysis of Cutting Conditions of Space of Hob Tooth, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 43, No. 373 (1977), pp. 3535-3547.
 - (10) Takeyama, H., *Cutting Process* (in Japanese), (1982), p. 77, Maruzen.
 - (11) Nakayama, K., *The Metal Cutting in its Principle*, (1978), p. 159, Corona Publishing.
 - (12) Aida, T. et al., *Cutting Technology* (in Japanese), (1973), p. 300, Corona Publishing.
 - (13) Hoffmeister, B., Der Verschleiß am Wälzfräser, *Industrie-Anzeiger*, 93. Jg. Nr. 99 (1971), pp. 2499-2504.
 - (14) Hiroi, S. and Nakayama, Y., *Cutting and Grinding Fluids* (in Japanese), (1982), p. 4, Saiwaisyobo.
 - (15) Takeyama, H., *Cutting Process* (in Japanese), (1982), p. 31, Maruzen.