旋削における硫黄系極圧添加剤の作用に及ぼす 切削油基油の性状の影響* (第 1 報, 基油の粘度等級の影響)

甲 木 昭^{*1}, 劉 鎮 昌^{*2}
境 忠 男^{*3}, 松 岡 寛 憲^{*4}

Influence of Properties of Base Oil for Cutting Oil on Action of Sulfurous EP Additive during Turning (1st Report, Influence of Viscosity Grade of Base Oil)

Akira KATSUKI, Zheng Chang LIU,
Tadao SAKAI and Hironori MATSUOKA

In the authors' previous cutting experiments on a lathe, using cutting oils containing an active sulfurous EP additive, dibenzyl disulfide (DBDS) at various concentrations, it was revealed that in a common concentration range (as sulfur) used in actual cutting oils containing sulfurous EP additive, DBDS unexpectedly increased flank boundary wear of cutting tools and degraded surface finish, but that in much lower concentration range, DBDS showed optimum concentrations at which flank boundary wear decreased and surface finish was improved. In these experiments, however, mineral base oils with limited viscosity grades were used, and so the influence of the difference in the viscosity grade of the base oil on the action of DBDS were not examined. In general, there exist interactions between an additive and a base oil, so that the difference in the viscosity grade of the base oil should affect the action of the additive. Therefore, in order to establish criteria for selecting or designing a base oil for EP cutting oil, it is necessary to determine optimum viscosity grade conditions in which tool wear and/or surface finish are minimized. From this viewpoint, the influence of the viscosity grade of base oil for cutting oil on the action of a sulfurous EP additive was investigated in a common concentration range of DBDS, using several mineral base oils with a variety of viscosity grades.

Key Words: Cutting, Cutting Fluid, Turning, Tool Wear, EP Additive, Sulfur, Viscosity Grade, Finished Surface Roughness

1. 緒 言

切削工具の摩耗および仕上面粗さは、切削油の基油および極圧添加剤によって大きく影響される。著者らは切削油の影響を調べるため、これまで高速度鋼工具を用いて、切削現象にかなりの影響を与える構成刃先を生成しやすい炭素鋼を被削材として旋盤により切削試験を行ってきた。それは切削油の影響は、その構成刃先抑制効果を含めて、超硬合金工具に対するよりも高速度鋼工具に対するほうが顕著に現れるという理由に基づいている。現在切削工具の主流をなす超硬合金工具などによる高速切削に対しては、むしろ切削油の影響の程度は減ずるとしても、著者らの実験結果はこ

れらの工具にも十分適用されうるものと考えられる。

さて、著者らは活性形の硫黄系極圧添加剤が工具摩耗および仕上面粗さに及ぼす影響を明らかにするため、ジベンジルジサルファイド(DBDS)を鉱油系基油に濃度を変えて添加したものを切削油として用い、高速度鋼工具による炭素鋼の切削試験を行い、その結果を報告してきた^{(1)~(3)}。

すなわち、DBDS は一般の切削油に添加されている硫黄系極圧剤の濃度範囲(硫黄分としての)、つまり常用濃度範囲で使用した場合には、期待に反して、工具の境界摩耗を増加させ^{(1)~(3)}、また仕上面に対しても、工具摩耗のない切削始めにこそ仕上面粗さを若干改善するものの、実際上意味のある定常摩耗域では仕上面を逆に悪くするなど有害な作用を及ぼすことを指摘した⁽³⁾。これに対し、常用濃度よりはるかに低い極低濃度域(硫黄濃度で 10^{-4} ないし $10^{-3}\%$)に、工具摩耗を低減し、かつ仕上面粗さを向上させる最適濃度が存在するという新事実も前報⁽³⁾で明らかにした。

しかし、これら一連の実験では、用いた基油は狭い

* 平成 4 年 7 月 16 日 九州支部大分地方講演会において講演、原稿受付 平成 6 年 4 月 20 日。

*¹ 正員、日本文理大学工学部 (〒870-03 大分市大字一木 1727-162)。

*² 山東工業大学 (〒250014 中国山東省済南市経十路 73 号)。

*³ 正員 (〒810 福岡市中央区輝国 2-12-54-304)。

*⁴ 正員、大分大学工学部 (〒870-11 大分市大字旦野原 700)。

範囲に限定された粘度等級のものであり、以上のような極圧剤の作用(功罪を含めて)に及ぼす基油粘度等級の差違の影響については検討していない。また、この点を系統的に調べた文献も見当たらない。

一般に添加剤と基油との間には密接な相互作用が存在する。益子・岡部⁽⁴⁾は、あらかじめ分子中の硫黄元素を放射化しておいた DBDS を粘度の異なる基油に一定濃度添加した試油を用いてピン-ディスク摩擦試験(試験片 S 45 C/S 45 C)を行い、摩擦面における放射能の変化を測定した結果、基油の粘度が異なれば摩擦面上での硫化鉄の反応量が異なることを明らかにし、また基油粘度が異なれば DBDS 分子の吸着挙動にも相違が生じることを指摘している。したがって切削現象においても、基油粘度の差違は添加剤の効き方に影響を与えることが当然予想される。それ故、極圧剤を含む切削油の基油の選定ないし設計の基準を得るためには、ある切削条件下ではいかなる粘度等級の切削油基油を用いれば極圧剤の効き方が最良になるかということ調べておくことが必要になろう。

このような観点から、著者らは粘度等級を幅広く変化した基油系列に DBDS を添加したものを切削油として用いて切削試験を行い、工具摩耗および仕上面粗さに対する極圧剤の作用に及ぼす切削油基油の粘度等級の差違の影響を調べることにした。

その際のアプローチとしては、極圧剤が工具摩耗および仕上面粗さを最良にする最適濃度条件下で検討するのが理想的な方法であろうが、現実の切削油に通常

添加されている濃度条件、つまり常用濃度条件下で検討するのも実際に即した方法として十分意義があるものと考えられるので、本報では常用濃度条件下で実験を行った。

なお、基油が同一の粘度等級の鉱油であっても、それを構成する炭化水素の分子量分布の範囲が狭域であるか広域であるかによってその切削性能が異なってくることが判明している⁽⁵⁾、本報ではその影響を避けるため狭域分布の鉱油のみを基油として使用した。分子量分布の差違の影響については次報で検討する⁽⁶⁾。

2. 実験方法および試油

2・1 実験方法 前報⁽³⁾と同様に、旋削バイトとして SKH 4(12°, 16°, 8°, 12°, 15°, 30°, 0.8), 被削材として表 1 に示すような S 50 C(H_B 204, 素材径 80 mm)を用いて切削試験を行い、工具摩耗および仕上面粗さを測定した。送り 0.26 mm/rev と切込み 1.0 mm は一定とし、切削速度 v は 30 m/min および 45 m/min とした。旋盤は大隈鉄工所製 LS 形実用高速旋盤(450×550, 無段変速機付)を使用した。切削時間は 30 分一定とした。工具摩耗は、図 1 に示すような横逃げ面境界摩耗長さ V_{K1} 、横逃げ面フランク摩耗幅 V_B および前逃げ面境界摩耗長さ V_{K2} を日本光学工場顕微鏡により測定した。仕上面粗さは、タリサーフ 10 粗さ・形状測定器により計測した。

また、切削過程において工具逃げ面摩耗部の表面に形成された反応膜中の硫黄および酸素元素の濃度を調べるため、島津製作所製 X 線マイクロアナライザ(EPMA)を用い、加速電圧 15 kV、試料電流 0.04 μ A の条件下で、30 分切削後の逃げ面摩耗部の面分析を行った。

2・2 試油 粘度等級の異なるパラフィン系の狭域分子量分布の無添加鉱油系列 P 60', P 150', P 500',

表 1 被削材の化学成分と硬さ

Kind	Chemical composition wt%								Brinell hardness H_B
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	
S50C	0.52	0.28	0.79	0.023	0.026	0.01	0.02	0.11	204

V_{K1} : Length of side flank boundary wear
 V_B : Width of side flank wear land
 V_{K2} : Length of front flank boundary wear

図 1 バイト逃げ面摩耗

表 2 基油の性状

Item	Oils	P60'	P150'	P500'	BS'
Specific gravity 15/4°C		0.8536	0.8618	0.8692	0.8782
Kinematic viscosity mm^2/s	40°C	7.8	29.3	95.1	393
	100°C	2.2	5.1	11.2	30.4
Mean molecular weight		270	400	537	737
Ring analysis %	C _A	0	0	0	0
	C _N	44.3	33.4	29.7	28.2
	C _P	55.7	66.6	70.3	71.8
Sulfur content ppm(weight)		4.4	3.4	6.7	10.9
Total acid number mgKOH/g		0.01	0.01	0.01	0.01

BS'(ブライトストック)を基油とした。表2にこれらの性状を示す。これらの基油系列に活性形の硫黄系極圧剤ジベンジルジサルファイド[DBDS, $(C_6H_5CH_2S)_2$]を硫黄分として0.5および0.1重量%(常用濃度範囲)添加したものを試油として用いた。

以上の基油は水素添加処理を二度行って精製したもので、表2からわかるように、その硫黄含有量は硫黄添加量に比べて極めて少ないので、基油中の天然硫黄の影響は無視できる。

切削部への試油の供給は、はけで塗布することにより行った。切削油の供給法の違い、すなわち、はけによる塗布とノズルからの注油(2 L/min)は、工具摩耗に対してほとんど差がないことを実験で確かめている⁽¹⁾⁽⁷⁾。

3. 実験結果および考察

3.1 工具逃げ面摩耗 図2に、添加試油を用いて切削試験を行ったときの工具の横逃げ面境界摩耗長さ V_{K1} (□, ■印)、横逃げ面フランク摩耗幅 V_B (○, ●)および前逃げ面境界摩耗長さ V_{K2} (△, ▲)の時間経過曲線を例示する。これは実験値の再現性を調べるため、同一条件下で2回実験を行った結果であるが、図から本実験の再現性は良好であることが確かめられ

図2 逃げ面摩耗の再現性

る。

以下に、30分切削後の工具逃げ面摩耗 V_{K1} , V_B および V_{K2} を試油の40°Cにおける動粘度に対してプロットし、基油自体の結果と比較して示す。また摩耗に対する添加剤の寄与分を評価するため、添加試油と基油の摩耗量の差, ΔV_{K1} , ΔV_B および ΔV_{K2} を取り、これらを図中に併せて示す。なお横軸として40°Cにおける動粘度を採用したのは、これがISO, VG(粘度等級)として規格化されているからである。

3.1.1 横逃げ面境界摩耗長さ V_{K1} 基油自体の V_{K1} は、既報⁽⁸⁾で実験対象とした基油系列P60~BS(本報のP60'~BS'と同系の油)の場合と同様に、切削速度 $v=30$ および45 m/minのいずれにおいても、粘度等級の上昇につれて減少する傾向を示す(図3, 4)。これは既報⁽⁸⁾で述べたように、粘度等級の高い油ほど油膜(吸着膜を含む)形成能力、すなわち潤滑能力が高く、酸化摩耗やアブレシブ摩耗を抑制する効果が

図3 横逃げ面境界摩耗 V_{K1} に対するDBDSの作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=30$ m/min)

図4 横逃げ面境界摩耗 V_{K1} に対するDBDSの作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=45$ m/min)

大きいことに起因すると考えられる。

DBDS を添加すると、 $v=30$ m/min (図3) では、基油の V_{K1} -粘度等級曲線の右下がりの傾向をほぼ保持したまま V_{K1} が増大する。一方 $v=45$ m/min (図4) では、逆に V_{K1} は粘度等級の上昇とともに大きく増加している。このように切削速度によって V_{K1} -粘度等級曲線の傾きは異なるものの、共通して V_{K1} が増加する理由は次のように考えられる。

著者らは前報⁽³⁾で、P150' を代表的な基油とし、これに DBDS の濃度を広範に変化させて添加したものを切削油として用い、境界摩耗 V_{K1} , V_{K2} に及ぼす DBDS 濃度の影響を調べた。その結果、両速度とも、添加硫黄濃度を $10^{-5}\%$ から出発して徐々に増していくと初めは摩耗が減少し、 10^{-4} ないし $10^{-3}\%$ の硫黄濃度域 (最適硫黄濃度域) で摩耗が最小値を取り、この濃度を超えると摩耗は再び増加に転じる事実が判明した。この摩耗-濃度関係曲線の最小点より高濃度側にある $0.1\sim 0.5\%$ (本実験の濃度範囲) での摩耗は基油自体の摩耗よりも大きくなった。P150' 以外の基油の添

加油もこれと同様な摩耗-濃度特性をもつために、図3, 4 のような結果になったものと考えられる。また図3において、 0.5% 添加のほうが 0.1% 添加よりも V_{K1} が大きくなっているのは、極低濃度の最適濃度を超えた濃度域では摩耗は濃度に対して単調に増加するからである。

桜井ら⁽⁹⁾は、有効な極圧潤滑は適度に抑制された腐食反応と見なしているが、 V_{K1} -濃度曲線の最小点より高濃度側で境界摩耗が増加するのは、前報⁽³⁾で述べたように、過剰な硫黄添加により過度な腐食反応が進行するためだと考えられる。

$v=30$ m/min (図3) と $v=45$ m/min (図4) での V_{K1} を比較した場合、 $v=45$ m/min での V_{K1} は、切削距離が長いことによる割増し分を考慮しても、なお $v=30$ m/min での V_{K1} よりかなり大きい。これは切削速度の増加に伴う逃げ面温度の上昇が腐食摩耗を促進したためであろう。

DBDS による V_{K1} の増加量 ΔV_{K1} は、両速度とも粘度等級の上昇につれて増大している (図3, 4)。すなわち横逃げ面境界摩耗に関しては、粘度等級が低い基油ほど DBDS の摩耗増加作用を抑制している。しかし切削油の実用的見地からいえば、極圧剤を添加したときの摩耗の絶対量、すなわち V_{K1} 値そのものが当然問題なのであるから、 $v=30$ m/min (図3) では V_{K1} の小さな高粘度等級油のほうがよい。一方 $v=45$ m/min (図4) の場合は、低粘度等級油のほうが ΔV_{K1} だけでなく絶対量 V_{K1} においても小さい。

3・1・2 横逃げフランク摩耗幅 V_B 基油自体の V_B は、 $v=30$ m/min (図5) では中間の粘度等級域でやや大きくなるが、 $v=45$ m/min (図6) では粘度等級に対する依存性がほとんど認められない。

DBDS を添加すると、両速度とも、全体的に見て V_B がわずかに減少する (図5, 6)。これは前報⁽³⁾で示した DBDS 濃度- V_B 関係曲線からわかるように、横逃げ面フランク摩耗の場合には、境界摩耗の場合とは

図5 フランク摩耗 V_B に対する DBDS の作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=30$ m/min)

図6 フランク摩耗 V_B および V_B' に対する DBDS の作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=45$ m/min)

図7 フランク摩耗域内に発生した溝状の異常摩耗 ($v=45$ m/min, 30 分切削後)

異なり、DBDS を常用濃度域で使用しても過度な腐食反応は生ぜず、全体的に見て、むしろわずかながらも DBDS は極圧剤としての摩耗低減効果を発揮している。このことを表面に形成された反応膜の点から考察するためにフランク摩耗面の面分析を行ったが、その結果については後述する。

なお $v=45$ m/min では $v=30$ m/min とは異なり、基油、添加油いずれの場合も、横逃げ面境界摩耗発生位置に近接したフランク摩耗域内に、境界摩耗の形状に類似した溝状の異常摩耗が発生した。その溝長さを V_B' として、図 6 中に V_B と併せてプロットした。基油自体の V_B' は V_B -粘度等級曲線にほぼ並行しながら若干増加している程度であるが、DBDS 添加により V_B' は著しく増大し、特に中間粘度等級域でその傾向が顕著である。図 7 は代表例として、基油 P150' とその添加油による異常摩耗の態様を示したものである。この異常摩耗の発生原因は、切削速度の増加に伴う逃げ面温度の上昇のため、溝状摩耗発生位置における表層部が硬度低下などにより耐摩耗性の低い状態になり、構成刃先の脱落片や溶着物などでこすり取られたためではないかと考えられる。また添加試油で異常摩耗が促進されるのは、温度上昇に伴って DBDS の腐食反応が活発化し、表層部の耐摩耗性低下が助長されたためではないかと推測される。

DBDS による V_B の変化量 ΔV_B は、両速度とも粘度等級にあまり依存せず、ほぼ一定値を示す(図 5, 6)。一方 $v=45$ m/min(図 6)における V_B' の変化量 $\Delta V_B'$ は、粘度等級に対して V_B と相似の関係を示し、中間粘度等級域で最大値をもつ。

3・1・3 前逃げ面境界摩耗長さ V_{K2} 図 8, 9 に示すように、基油自体の V_{K2} は両速度とも、 V_{K1} とは逆に、おおむね粘度等級の上昇につれて増加している。

図 8 前逃げ面境界摩耗 V_{K2} に対する DBDS の作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=30$ m/min)

V_{K2} が粘度等級とともに増加する理由は次のように考えられる。

切削油の摩耗低減効果はその潤滑作用と冷却作用との総合効果である。ところが前切れ刃は、その境界部が送り目と接触するため流動圧力に近い高い圧力を受けるため油が浸入しにくい上、切りくずの排出によって油の浸入が妨害される。したがって油の浸入性が良くなければ、前逃げ面境界摩耗部に油が十分に到達し得ないので、その潤滑効果も冷却効果も期待しがたい。そこで油の浸入性の良否が問題になるが、浸入性は冷却性と並んで、粘度等級の低い油ほど優れている⁽⁵⁾⁽⁸⁾。一方、粘性効果に基づく潤滑性能のほうは、粘度等級が低くなるにつれて低下するが、本実験で使用している基油系列は、最も低い粘度等級の P60' でも適度の潤滑性は所有している。そのため、前逃げ面境界摩耗に対しては、浸入性と冷却性能の両方に優れた低粘度等級の油ほど潤滑効果および冷却効果を発揮し、大きな摩耗低減効果を挙げたものと考えられる。

DBDS を添加すると、両速度とも、すべての粘度等級を通じて V_{K2} は増加する。 $v=30$ m/min(図 8)では V_{K2} は粘度等級にあまり依存せずほぼ一定値を示すようになるが、 $v=45$ m/min(図 9)では V_{K2} は基油の V_{K2} -粘度等級曲線の右上がりの傾向を保持したまま増加している。DBDS が境界摩耗 V_{K2} を増大させるのは、前述の境界摩耗 V_{K1} の場合と同じく、過度の腐食反応に起因するものと考えられる⁽³⁾。また V_{K1} の場合と同じ理由から、0.5%添加のほうが0.1%添加より V_{K2} が大きくなっている(図 8)。

DBDS 添加による V_{K2} の増加量 ΔV_{K2} は、 $v=30$ m/min(図 8)では、横逃げ面境界摩耗の ΔV_{K1} とは逆に粘度等級の上昇とともに減少している。すなわち粘度等級の高い基油ほど DBDS の摩耗増加作用を抑制

図 9 前逃げ面境界摩耗 V_{K2} に対する DBDS の作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=45$ m/min)

している。一方 $v=45$ m/min (図9) では、 ΔV_{K2} は粘度等級にあまり依存せずほぼ一定である。

3・2 仕上面粗さ $R_{\max}$ 図10, 11に添加試油による30分切削後の仕上面粗さ $R_{\max}$ を試油の40°Cにおける動粘度に対してプロットし、基油自体の結果と比較して示す。また仕上面粗さに対する添加剤の寄与分を評価するために、添加試油と基油の仕上面粗さの差 $\Delta R_{\max}$ を取り、これを図中に併せて示す。

$v=30$ m/min (図10) では、基油自体の仕上面粗さは粘度等級の上昇につれてほぼ直線的に増大している。その理由は次のように考えられる。

Solaja⁽¹⁰⁾ らによれば、定常摩耗域における仕上面粗さの主な発生理由は、切削過程において工具前逃げ面に発生する境界摩耗(溝状摩耗)の粗さ形状が仕上面上へ転写されるためである。したがって、前逃げ面境

界摩耗の溝深さは仕上面粗さに対して支配的な影響をもつ。いま前逃げ面境界摩耗の溝深さを G_d とすれば、 G_d は $G_d = (V_{K2} - V_B) \cdot \tan \beta$ (β : 前逃げ角)⁽¹¹⁾ で与えられるが、 β は一定であるから、 G_d は $(V_{K2} - V_B)$ 、すなわち前逃げ面境界摩耗長さとフランク摩耗幅との差に比例する。それ故、 G_d したがって仕上面粗さは $(V_{K2} - V_B)$ によって規定されることになる。そこで基油の $(V_{K2} - V_B)$ -粘度等級関係を調べてみると、図12のようになり、基油の仕上面粗さ-粘度等級関係(図10)との間にかなり良好な対応関係を示すことがわかる。したがって、基油の仕上面粗さが粘度等級の上昇につれて直線的に増大するのは、この $(V_{K2} - V_B)$ -粘度等級関係を反映しているためであると考えられる。一方 $v=45$ m/min (図11) では、 $v=30$ m/min の場合とは異なり、基油の仕上面粗さは低粘度等級域では粘度等級に対して増加傾向にあるものの、中粘度等級以上では低下している。これに対し、 $(V_{K2} - V_B)$ と粘度等級との関係は図13のように、 $(V_{K2} - V_B)$ は $v=30$ m/min の場合と同様に粘度等級に対して単調増加的である。すなわち $v=45$ m/min では、基油の仕上面粗さ-粘度等級関係(図11)と $(V_{K2} - V_B)$ -粘度等級関係(図13)を対比すると、高粘度等級域で両者の対応関係が崩れている。

その理由は、前述のようにフランク摩耗域の内部に

図10 仕上面粗さ $R_{\max}$ に対する DBDS の作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=30$ m/min)

図11 仕上面粗さ $R_{\max}$ に対する DBDS の作用に及ぼす粘度等級の影響 ($v=45$ m/min)

図12 $(V_{K2} - V_B)$ と粘度等級の関係 ($v=30$ m/min)

図13 $(V_{K2} - V_B)$ と粘度等級の関係 ($v=45$ m/min)

かなり大きな異常摩耗 V_B が発生したために、 V_B を正確に見積るのが技術的に困難になり、その結果 ($V_{K2} - V_B$) の評価が正確さを欠くものになったためではないかと推測される。

DBDS を添加すると、両切削速度特に $v=30$ m/min において、仕上面粗さ-粘度等級関係と ($V_{K2} - V_B$)-粘度等級関係との間の対応関係が崩れてくる (図 10～図 13)。その理由は、仕上面粗さを支配する要因として、工具粗さ形状の転写という物理的因子に、仕上面-工具界面における腐食反応という化学的因子がからんでくるためではないかと推察される。

また $v=45$ m/min (図 11) での仕上面粗さは $v=30$ m/min (図 10) での粗さに比べて、切削距離が長いにもかかわらず、基油、添加油とも、すべての粘度等級で良好になっているが、これは主として構成刃先の生成付着に起因するものと考えられる。すなわち、切削速度が 30 m/min から 45 m/min に増大して切削温度が上昇したために、仕上面粗さに悪影響を及ぼす構成刃先の発生が減少し、仕上面粗さが向上したものと思われる。また仮に構成刃先の発生が減少しないとしても、高温により構成刃先自身が軟化し、成長しにくくなるため、構成刃先の付着量は低下するはずである。実際に、著者らは両速度での構成刃先の付着量を観測した結果、 $v=45$ m/min のほうが $v=30$ m/min よりも付着量が少ないことを確認している。

DBDS 添加によって、両速度とも、すべての粘度等級を通じて仕上面粗さ R_{max} は増大する (図 10, 11)。これは図 12, 13 からわかるように、DBDS 添加によって ($V_{K2} - V_B$) が増加する傾向にあり、そのため、これと比例関係にある前逃げ面境界摩耗の溝深さ G_d が増大するからであると考えられる。また図 10 の仕上面粗さ-粘度関係で 0.5% のほうが 0.1% より R_{max} が大きくなっているが、これは図 12 における両濃度の ($V_{K2} - V_B$)-粘度関係の結果を反映している。

DBDS 添加による R_{max} の増加量 ΔR_{max} は、 $v=30$ m/min (図 10) では中間粘度等級域で最大になる。一方 $v=45$ m/min (図 11) では、 ΔR_{max} は粘度等級の上昇とともに増大する傾向がある。すなわち粘度等級の低い基油ほど DBDS の仕上面粗さを悪化させる作用を抑制している。

3.3 逃げ面摩耗部の表面分析 横逃げ面フランク摩耗は、横逃げ面および前逃げ面の境界摩耗とは異なり、DBDS 添加によって摩耗が増大せず、むしろ若干減少する傾向が見られたが、このことはフランク摩耗部に形成された反応膜、すなわち硫化膜および酸化膜の形成状態に関連があるものと考えられる。そこで

図 14 逃げ面摩耗部の表面分析 [切削油 P 150' + DBDS (S 分 0.5%), $v=30$ m/min, 30 分切削後]

添加試油 (S=0.5%) を用い、 $v=30$ m/min で 30 分間切削試験を行った後の逃げ面摩耗部に対し、X 線マイクロアナライザを用いて S, O 元素について面分析を行い、フランク摩耗部の測定結果を横逃げ面および前逃げ面境界摩耗部の結果と比較した。図 14 に、それらの SEM 二次電子像および S-K α , O-K α 像を示す。図 14 より、過度の化学反応のために摩耗が増大した横逃げ面および前逃げ面境界摩耗部では S, O 濃度が高く、腐食摩耗が示唆されるのに対し、摩耗が若干減少したフランク摩耗部では S, O 濃度が比較的 low、化学反応が適度であったことが推察される。

フランク摩耗部が腐食摩耗を起こしにくい理由としては、(1) フランク摩耗部は横逃げ面および前逃げ面の境界摩耗部に比べて、圧縮応力がいっそう高く被削材との接触部全域にわたって凝着に近い状態にあるため⁽¹²⁾、油剤が浸入しにくく、また切りくずによっても

その浸入が妨げられるので、極圧剤による腐食反応を受ける度合いが低いこと、(2)フランク摩耗部と被削材との接触面は、横逃げ面および前逃げ面の境界摩耗部と被削材との接触面とは異なり、切削過程中、空気(酸素)に直接接していないため、過剰なトライボ化学反応が抑制されることなどが考えられる。

4. 結 言

工具摩耗および仕上面粗さに対する活性形の硫黄系極圧添加剤の作用に及ぼす切削油基油の粘度等級の影響を調べるため、粘度等級の異なる基油系列にDBDSを硫黄分として0.5および0.1重量%(常用濃度範囲)添加したものを切削油として用い、旋盤において高速鋼工具による炭素鋼の切削試験を2種類の切削速度のもとに行った。その結果、常用濃度条件下では次のことが明らかになった。

(1) DBDS添加はすべての粘度等級を通じて工具境界摩耗を増加させる。その際、横逃げ面および前逃げ面境界摩耗に及ぼす基油粘度等級の影響の仕方は、それぞれ切削速度条件によって異なり、一義的には決まらない。

(2) DBDSは全体的に見て横逃げ面フランク摩耗を若干減少させ、わずかながらも極圧剤としての摩耗低減効果を発揮する。DBDSによる摩耗変化量は粘

度等級にあまり依存せず、ほぼ一定である。なお、切削速度 $v=45$ m/minの場合、基油自体でもフランク摩耗域内に溝状の異常摩耗が発生したが、DBDS添加により異常摩耗が促進され、中間の粘度等級でその傾向が著しかった。

(3) DBDS添加はすべての粘度等級を通じて仕上面粗さを悪くする。その際、仕上面粗さに及ぼす基油粘度等級の影響の仕方は速度条件により異なり、一義的には決まらない。しかしDBDSを添加したときの仕上面粗さの絶対値は、両速度とも粘度等級の低い基油ほど小さい。したがって仕上面粗さに関しては、粘度等級の低い基油ほど有利である。

文 献

- (1) 上野・ほか2名, 機講論, No. 705-2(1970-10), 67.
- (2) 甲木・松岡, 精機学会春期大会講演論文集, (1984-3), 695.
- (3) 甲木・ほか2名, 機論, 60-573, C(1994), 1809.
- (4) 益子・ほか2名, 潤滑, 24-5(1979), 317.
- (5) 甲木・ほか2名, トライボロジスト, 37-2(1992), 134.
- (6) 甲木・ほか3名, 機論, 61-583, C(1995), 1177.
- (7) 甲木・松岡, 機講論, No. 790-17(1979-10), 124.
- (8) 甲木・ほか2名, トライボロジスト, 37-1(1992), 76.
- (9) Tomaru, M., ほか2名, *Wear*, 41(1977), 117.
- (10) Solaja, V., *Wear*, 2(1958-59), 40.
- (11) 佐久間・藤田, 潤滑, 21-11(1976), 748.
- (12) 大越・佐多, 精密機械, 23(1957), 64.