

切削油の供給方法

竹中規雄・鳴沢勇平

1. 緒 論

切削加工の際に加工部に切削油を供給すると、切削抵抗の減少、仕上面精度の向上ならびに工具寿命の延長等が可能となるために、古くから給油切削(湿切削)が実施されている。この種の給油切削の場合に、切削油がいかなる経路をへて工具のすくい面に給油されるかについては、二様の説が発表されている。すなわち、Shaw¹⁾は切削油は気体のかたちで工具のすくい面側から侵入するというすくい面説を唱え、Rauterbach, Ratzel²⁾ならびに篠崎, 吉川³⁾は工具の逃げ面側から侵入するという逃げ面説を主張している。かりに切削油がすくい面側から侵入するとすれば、現在最も広く採用されているたれ流し給油法(CS給油法と略称)が適切な給油手段といえ、また逃げ面側から侵入するものならば、比較的新しい給油方法として、開発途上にあるジェット給油法(以下ジェットをJと略称)がより効率的な給油方式とみなせるわけである。それゆえ、CS給油法とJ給油法とを実際の切削に適用してその潤滑効果の多少を比較すれば、切削油の侵入経路、侵入時の状態もある程度推定されるはずである。

本実験の主要な命題であるJ給油法とは、Pigott⁴⁾が考案した給油法であり、その作用機構、効果等は次のごとくである。高压の切削油を工具の下方から工具の切刃に向けて噴射させて冷却効果を高める。切削油は工具に触れて気化し、気体のかたちで加工物と切刃との間の微小間隙を通過してすくい面を潤滑する。J給油における切削油の噴射圧力(J圧力と略称)を400 lbs/in²(約28 kg/cm²)にすると最も成績がよく、工具寿命をCS給油の場合と比較して、高速度鋼バイトで6~12倍、超硬バイトで3~5倍に延長できる。

以上のPigottの論文のなかで最も問題とされる点は使用切削油が特殊な切削油—Gulf Hi-Jet Oilで高压J給油用に特に製作された切削油—であること、ならびに切削速度が70 m/min以下で比較的低速なことである。給油法の特性を究明するには切削油を特殊なものに限定すべきでなく、また切削速度もより高めるべきであろう。特に切削速度と切削油の効能との関連性については、従来から切削油の潤滑効果の有効な臨界切削速度があるとされ、100 m/minあるいはそれ以上の切削速度では切削油の潤滑効果がほとんど期待できないといわれている。

また超硬切削の場合には、切削油の潤滑効果による利益より以上に冷却効果による害の方が大きく、給油により工具の刃先温度の上昇や切削抵抗の増加がもたらされることが認められ、たとえば半硬鋼においては140~170 m/minで臨界切削速度に達し、それ以上の切削速度の時の給油は無益かあるいは有害でさえあるといわれている。それゆえ給油方式の改善により潤滑効果が高められるかどうかを確認するには、臨界切削速度の近傍における切削試験が必要なわけである。筆者はすでに研究速報⁵⁾で低速切削時のJ給油効果について発表した。本実験では高速領域の切削に対する実験を行なった結果、J給油効果の特性をより一層明確にし、J給油法の利点を明らかにすることができた。

2. 実験要領

実験装置は研究速報のものとは基本的な相違がないので説明は省略することにする。次に実験条件を列挙する。

バイト(水溶性切削油用) SI超硬バイト、すくい角8°、前逃げ角5°。(不水溶性切削油用) SKH4バイト、すくい角15°、前逃げ角5°。

バイトの最終仕上げは220#ダイヤモンド砥石(メタルボンド)により実施。

被削材 S56C焼純鋼

切削幅 1.5 mm (1.5 mm 以外は特記する)

切込み 0.06 mm および 0.12 mm

切削法 二次元切削(突切り)

切削油 第1表に示す8種類の市販切削油

給油法 無給油(Dと略称)、CS給油(口径10φのパイプから10ℓ/minの給油)、J給油(J圧力0~30 kg/cm²。ただし0 kg/cm²は切削油が切刃にかかる程度に加圧。噴射ノズルの穴径1.2 mm。J圧力25 kg/cm²の時の給油量は一水を使用—4ℓ/min)。

実験は同一のバイトにより、あらゆる切削条件を一定にして給油法のみ変えて旋削を行ない、各給油条件における切削の時の切削抵抗の2分力—主分力F_c、背分力F_t—を測定する。切削油の潤滑効果は切削抵抗の減少率と一義の関係にあることから、切削抵抗値の大きさにより切削油の実効果を判定できる。また給油条件により切削油の潤滑効果に変化する時に、その変化量と切削油の粘度、表面張力との間に、なんらかの関係があるとすれば、切削油は液体状態で侵入するものと想像される。すなわ

第 1 表 供 試 切 削 油

切 削 油		表面張力 dyne/cm	粘 度 sec 20°C レッ ドウッド	摩擦係数	添加剤含有量 %	備 考
水溶性切削油	国産塩化油① 1: 80	35	27	0.074	Cl 1.7	
	国産塩化油② 1: 20	39.1	26.4	0.080	塩化物 3.5 非イオン活性剤 5.0 防銹剤 1.0	
	輸入塩化油 1: 20	39.7	26.9	0.103	Cl 4.72 非イオン活性剤	炭化水素 73%
	国産硫化油 1: 20	32.9	21.5	0.085	S 1.0 非イオン活性剤 0.5	
	輸入乳化油	38.5	26.2	0.100	非イオン活性剤 6~8	炭化水素 90% 脂肪酸石鹼 2~3%
不 水 溶 性 油	国産硫酸化油		228	0.100	塩化物 2 硫化物 20	
	種 油		321	0.095		
	国産混成油		96	0.120		

ち切削油の浸潤性は切削油の粘度（特に不水溶性切削油では）および表面張力（特に水溶性切削油では）に左右されると考えられるから、高粘度または大表面張力の浸潤性の悪い切削油ほど、給油条件により潤滑効果に変化する可能性が大きいと予想される。切削油が酸化して工具のすくい面に侵入するものとすれば、潤滑効果と粘度、表面張力との間には直接的関係がないはずである。

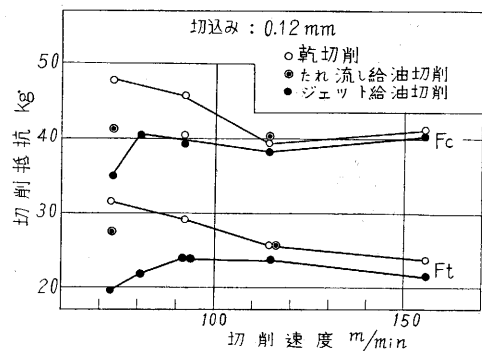
3. 実験結果およびその考察

(1) 水溶性切削油

第 1 図（図中右上○ジェット給油切削は、●ジェット給油切削の誤り）および第 2 図は切削速度と切削抵抗との関係を示す。給油法は D, C S 給油, 20 kg/cm² J 給油の三方式とし、使用切削油は国産塩化油①である。このデータを吟味すると、切削油の潤滑効果は切削速度が低いほど、また切込みが小さいほど大きいこと、C S 給油よりも J 給油の方が効果があることが認められる。切込み 0.06 mm および 0.12 mm のいずれの場合も、J 給油の場合に切削抵抗は最小となり、特に切込み 0.12 mm の場合には C S 給油では 110m/min の切削速度が臨界切削速度となっているのに対して、J 給油では 155m/min の切削速度でも潤滑効果を示している。これは J 給油法が常用切削速度における工具寿命の延長、同一工具寿命に対す

る切削速度の向上を可能にすることを意味し、生産時の加工時間、加工コスト、工具費の切下げなどに有利なことを示している。

第 3 図は国産塩化油②、第 4 図は輸入塩化油に関する実験結果で、一定の切削速度 (Fc, Ft の前の数字は切削速度を示す) における給油条件と切削抵抗の関係を示す。この 2 種類の塩化

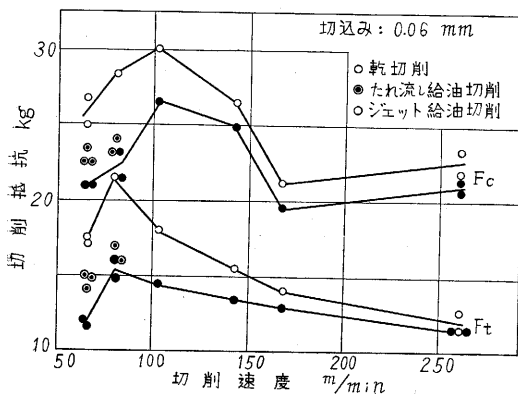


第 2 図 国産塩化油(1)

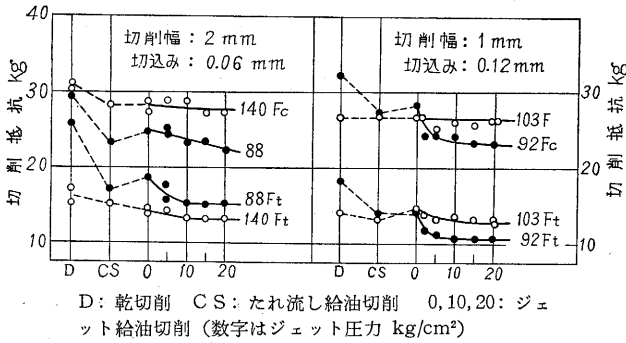
油においても、切削速度が高いほど潤滑効果が減少する傾向を示すこと、J 給油法の方が C S 給油法よりも優れていることをあらわしている。J 圧力が 5 kg/cm² 以下の低圧の時には C S 給油法の方がよいこともあるが、J 圧力を 10 kg/cm² 以上にすれば、確実に C S 給油法よりよくなる。切削油が安定して作用できる切削条件に対しては、J 圧力が高いほど切削油の効力が大きくなるということが図から読み取れる。

以上 3 種類の切削油は極圧添加剤として塩素を含有するために、切削過程に発生する熱と圧力により、切屑およびバイトの面にグラファイト状の FeCl₃ (FeCl₂ は加水分解するため潤滑作用と関係がない) の膜を反応化合物として形成し、この膜が潤滑作用を行なうわけである。この FeCl₃ の融点は約 400°C であるから、塩化油は刃先温度が 400°C 以上になるような苛酷な切削条件での使用には適さぬわけである。J 給油は高圧高速の切削油を刃先に噴射させるために、C S 給油よりもはるかに優れた冷却効果があると考えられるから、比較的低温で作用する塩化油に適した給油方式といい得るかも知れない。

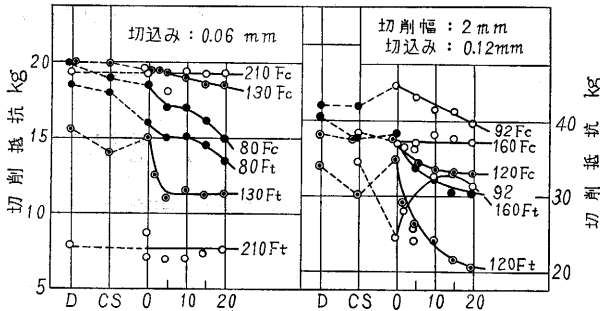
第 5 図（図中右上○Dry は、●Dry の誤り）は国産硫化油に関する実験データである。硫化油は極圧添加剤として硫黄を含み、反応化合物の硫化鉄により潤滑を行なう。硫化



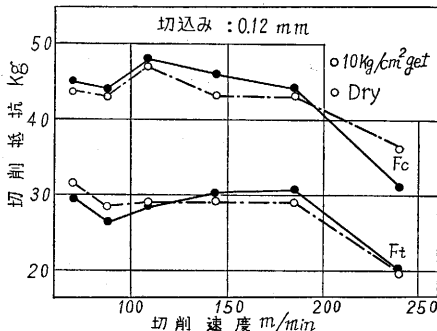
第 1 図 国産塩化油(1)



第3図 国産硫化油(2)

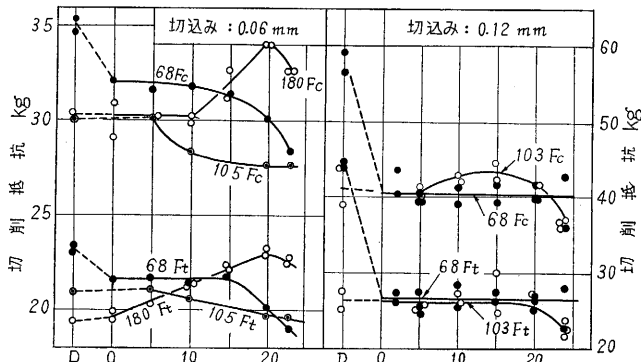


第4図 輸入硫化油 (图中 92 は 92 Fc)



第5図 国産硫化油

鉄の作用温度，融点は塩化鉄よりも高いために硫化油は塩化油よりも，よりきびしい切削条件用に適しているが，



第6図 輸入乳化油

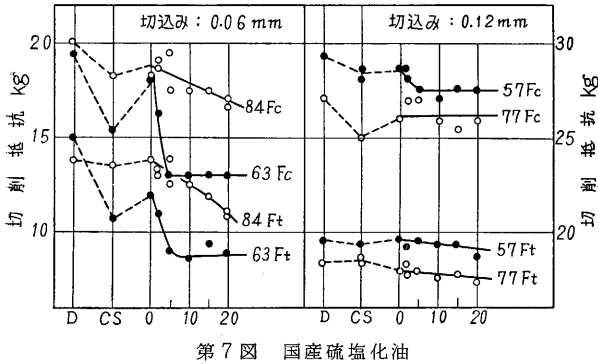
軽切削の場合は塩化油に劣ると考えられる．データを検討すると，低速領域ではほとんど潤滑性がない反面，250 m/min のような高速切削の時もお安定性を失わない．すなわち，実験条件よりもより苛酷な高速重切削を行なった場合には，また別なよい成績が収められるかも知れないのである．

戦後急速に伸びてきた極圧添加剤入り切削油と比較するために，古いタイプの切削油である輸入乳化油を採り上げることにする．この切削油は鉱油と脂肪油との混成油に活性剤を加えたものである．第6図から解るように切込み 0.06 mm，切削速度 180 m/min では給油はマイナスの作用をなし，J 圧力が高いほど悪い結果を示す．また切込みが 0.12 mm の場合の臨界切削速度は，100m/min 程度に過ぎない．そのためこの切削油は極圧添加剤入りの切削油に比してはるかに性能が劣っており，次第に高速重切削しつつある現在の切削加工技術から落伍した切削油とみなしてもよいであろう．

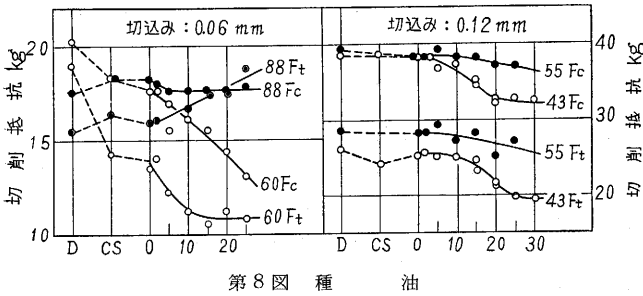
以上5種類の水溶性切削油に関する実験結果を総合すると，臨界切削速度以下の切削速度のところでは，J 給油法の方が効果があり，J 圧力が高いほどよい．また表面張力が最も大きい輸入塩化油が最も給油条件の影響を大きく受け，表面張力が小さい国産硫化油が最も給油条件に影響されぬことから，切削油は主としてバイトの逃げ面側から侵入し，侵入時の主要な形態が液体であると推定される．供試切削油の使用上の優劣を比較すると塩化油，硫化油，普通乳化油の順となり，切削条件，給油条件の選定が適切ならば，超硬切削の場合においても主分力で30%，背分力で40%程度の切削抵抗の減少が可能になる．

(2) 不水溶性切削油

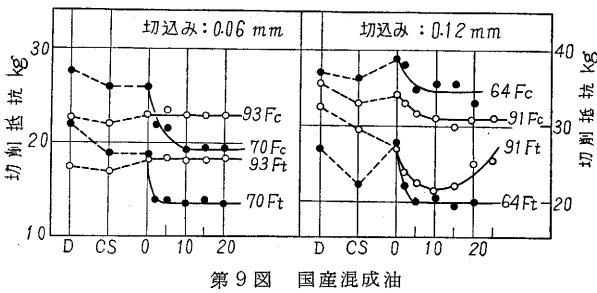
国産硫化油は，低速軽切削（たとえば切込み 0.06 mm，切削速度 63 m/min）の場合には低圧 J も大きな威力を発揮するが，切削速度が 84 m/min 程度になると，高圧 J でなければ余り効果がなくなる．切込みが 0.12 mm となると，粘稠度が高くて浸潤性の悪いこの種の切削油では，単に給油条件を変えることのみにより，潤滑性能を大きく向上できなくなる．80 m/min 近辺の切削速度でも潤滑能があり，高速切削時の安定性が他の不水溶性切削油よりすぐれているのは極圧添加剤の影響と思われる．硫化油に比してさらに高粘度の種油は，仕上げ削りのような低速軽切削の場合には非常にすぐれていることがよく知られている．第8図を見ると切込み 0.06 mm，切削速度 60m/min の場合がそれであり；J 給油効果も顕著である．しかしながら切込み 0.06 mm，切削速度 88m/min になると，主分力はほとんど給油条件の影響を受けない



第 7 図 国産硫塩化油



第 8 図 種 油



第 9 図 国産混成油

が、背分力は給油するとかえって増加し、逆効果現象を示している。また切込み 0.12 mm では硫塩化油とはほぼ同様の傾向を示し、給油条件の影響は非常に小さい。

鉱油と脂肪油とからなる国産混成油は、その粘度 (20°C レッドウッド) が硫塩化油の 1/2 以下、種油の 1/3 以下であり、前二者よりはるかに浸潤性が勝っていると予想される。第 9 図で見られるように、切込み 0.12 mm の場合にも工具のすくい面に比較的よく浸潤し、J 圧力の効果もあらわれている。この点が前二者と対照的であり、この切削油の特長といえる。

第 2 表 不水溶性切削油におけジェット効果

切 削 油	粘 度	0.06		0.12		切込み mm 切削速度 m/min 備考
		60程度	80程度	60以下	70程度	
国産混成油	↓	↓	ナシ	↑	↑	矢印先端に向かって大きくなる
国産硫塩化油	↓	↓	アリ	↑	↑	
種 油	↓	↓	逆効果	↑	↑	

以上 3 種類の不水溶性切削油の実験結果を検討すると潤滑効果を左右するのが切削油の粘度と切削条件との組合せであることが看取される。その関係を第 2 表によって示すと次のようになる。

第 2 表から明らかなように、不水溶性切削油の性能を決定するのは、極圧添加剤の有無より以上に粘度である。それゆえこの種の切削油には液体としての潤滑作用が大きいものと考えられる。

4. 結 論

筆者の行なった実験は切削条件、切削油に関する条件を一定にできず、切削速度、切削油の選定にも不備があったようである。しかしながら切削油の作用機構、給油条件の影響等について比較的明確な概念を得ることができ、次のような結論を得た。

- (1) 切削油は主として工具の逃げ面側から侵入して工具のすくい面を潤滑にする。そのためジェット給油法が、たれ流し給油よりも効果的な給油手段であるといえる。ジェット給油法におけるジェット圧力は高いほどよいが、10kg/cm² 程度の圧力でもかなりの成果を取ることができる。
- (2) 切削油の侵入時の状態は主として液体である。そのためジェット効果は切削油の粘度および表面張力と密接な関係があり、粘度、表面張力の大きい切削油ほど、ジェット効果が大きい。
- (3) 切削油の使用条件が適切であれば超硬合金工具による高速切削においても、切削抵抗を 30% 程度減少することができる。
- (4) 供試切削油の中では水溶性塩化油 (国産塩化油①および輸入塩化油) が最もすぐれていた。ある種の切削条件下では不水溶性切削油の中ですぐれた特性を示すものもあるが、これらは広い範囲の切削条件をカバーできぬという欠点がある。

終わりに本実験が文部省科学試験研究費を使用したことを明らかにし、本実験に対して切削油を提供されたユシロ化学工業株式会社ならびに同社の新宅順三・金山佳也の両氏に謝意を表する。(1960.5.18)

参 考 文 献

- 1) M. C. Shaw : J. Appl. Mech. 15 (1948) 37.
- 2) W. E. Lauterbach, E. A. Ratzel : Lubrication Eng. 7 (1951) 15.
- 3) 篠崎襄, 吉川弘之 : 精密機械 24 (1951) 15.
- 4) R. J. S. Pigott : Am. Machinist. Jan. 21. 1952.
- 5) 竹中規雄, 鳴沢勇平, 吉岡潤一 : 生産研究 10 (1958) 11.