各種切削油剤による高速度鋼バイトの寿命試験

篠 崎 襄* 原 田 政 志*

Tool-life Test of High-speed Steel Tool applying Various Cutting Fluids

Noboru SHINOZAKI, Masashi HARADA

Carbon steel and Cr-Mo steel were cut with high-speed steel tools at rather severe cutting conditions applying various cutting fluids to investigate the effect of cutting fluids on the tool life.

Rape oil which is regarded to be highly effective for light cutting was not effective, and extreme pressure oils, except one added only sulfurized fatty oil, gave satisfactory results from the standpoint of tool life. Water soluble cutting fluids, whether those are emulsion, soluble or solution type, have individual optimum dilute proportions for the best performances in tool life, and it was verified that water soluble cutting fluids, when applied properly, give longer tool life than non-water soluble cutting fluids. The reasons for this are also discussed in this paper.

1. 緒 言

超硬工具の時代となつた最近では、工具寿命の実験はほとんどがカーバイド工具あるいはオキサイド工具による乾燥切削であつて、切削油を適用したものは、竹山¹⁾の研究が見られる程度である。しかし実際の工場現場ではまだまだ高速度鋼工具が大量に使用され、同時に多量の切削油が用いられている。にもかかわらず Taylor 以来の高速度鋼工具の寿命実験の寿命曲線は、ほとんどが乾切削の場合であつて切削油を使用した場合、あるいは切削油同志を工具寿命によつて比較した系統的な例は数が少ない。

本研究では、高速度鋼工具に種々の切削油を使用して比較的高速度で寿命実験を行なつた場合の結果を考察し報告するものである。

2. 実験装置、方法等

使用機械：昌運カズヌーブ旋盤（無段変速）

工具：日立安来製高速度鋼4種完成バイト，13□，刃先形状，片刃，すくい角10°，にげ角5°，前にげ角2°，尖端半径0°，（牧野製万能工具研削盤により，#220メタルボンドダイヤモンドホイールを用いて仕上げ。）

被削材 S45C，SCM3，いずれも焼鈍材，170φ×500，直径が70φになるまで実験に使用。半径方向，硬度分布，RBで4%以下

切削条件 削り速度（ v_m/min ）：変化，切込み（ dm

m ）：2，送り（ Smm/rev ）：0.2，0.3。

使用した切削油：切削油は不水溶と水溶を各種使用した。表1に不水溶，表2に水溶の種類と性状を記す。

表1において，1は60番スピンドル油そのもの，2は菜種油そのものである。菜種油は他の試油より粘度の高いことが注目されよう。3は60番スピンドル油に塩化パラフィン20%（塩素量に直して8%）添加したもの，4は60番スピンドル油に硫化脂肪油20%（硫黄量に直して2%）を添加したもの，5は塩化パラフィン10%，硫化脂肪油10%（塩素量4%，硫黄量1%）添加，6は塩化パラフィン20%，硫化脂肪油20%（塩素量8%，硫黄量2%）と5番の倍量を添加したものである。6は著者の経験によつて，不水溶としては苛酷な切削条件にはば最高に近い性能を持つと考えられるものであり，一般の市販切削油は値段等の関係から，このように多量の添加剤は添加されていないものと考えられる。7，8は某社製の市販品である。

表2の水溶において9は鉱油（スピンドル油）に界面活性剤を加えた典型的なエマルジョン型，10はそれに塩素系極圧添加剤を添加したもので，この両者の切削時における標準の稀釈倍率は10倍程度を推奨されるものである。11は界面活性剤を主体としたソリュブル型で標準稀釈倍率は約50倍である。12は従来のソリュション型とソリュブル型の中間を行くもので界面活性剤と亜硝酸ソーダ水溶液の両方が混入され，切削作業にも研削作業にも向くよう調合されたものである。

注油方法 注油量は2l/min，注油はすくい面方向から自然流下させた。

* 理化学研究所 正会員

表 1 不水溶性切削油の性状

番 号	内 容	粘 度 RW. sec, 50°C	表面張力 dyne/cm 30°C	引 火 点 C°
1	# 60スピンドル油	41.7	36.44	156
2	菜 種 油	133	40.14	328
3	# 60スピンドル油80%+塩化パラフィン20% (Cl 8%)	52.9	35.55	166
4	# 60スピンドル油80%+硫化脂肪油20% (S 2%)	70.9	34.80	163
5	# 60スピンドル油80%+塩化パラフィン10% +硫化脂肪油10% (Cl 4%, S 1%)	61.6	35.69	165
6	# 60スピンドル油60%+塩化パラフィン20% +硫化脂肪油20% (Cl 8%, S 2%)	116	36.69	170
7	市販切削油 Cl, S 添加	53.6	36.61	162
8	市販切削油 Cl, S, P, Pb 添加	59.6	33.87	167

表 2 水溶性切削油の性状 (原液)

番号	型 式	内 容	表面張力 dyne30°/cm	境界摩擦係数	粘 度 RW sec 50°C
9	エマルジョン	鉱油+界面活性剤	40.8	0.131	122
10	エマルジョン	鉱油+界面活性剤+塩素系添加剤	35.9	0.139	160
11	ソリュブル	界面活性剤+鉱油+アミン+塩素系添加剤	38.1	0.142	1,109
12	ソリュション	水+界面活性剤+亜硝酸ソーダ+硫黄系添加剤	32.9	0.306	40.2

註 内容の項において先に記したもののほど混入量大。

図 1 切れ刃の鈍摩

工具寿命の判定方法：工具寿命の判定にはいろいろな方法が考えられ、にげ面の摩耗幅、あるいはクレータの

深さによるのが一般的であり、また現場的には仕上げ面のあらさの劣化等によつて判定する方法もあるが、本研究では、工具が高速度鋼でもあるので、図1に示すように刃先が完全に鈍摩したときをもつて寿命とした。図1のような損傷は徐々には起こらず、急激に起こりその変化は切り屑あるいは仕上げ面の変化ですぐ発見することができるので、寿命時間の測定に大きな誤差は入らない。

3. 実験結果および考察

3.1 再現性

図2は被削材 S45C, $v=45$, $s=0.3$ の条件で、8番の切削油を用いたときの切込みと寿命時間 (T_{min}) との関係を示したものであり、各点は4回の実験の平均値を表わしている。寿命は切込みの増加につれて短くなり飽和する傾向をもち、3 mm 以上ではほとんど差が認められないが、2 mm 以下ではその差が大きいことがわ

かる。測定点のばらつきは図に示されたように寿命が10分以上の場合は25~50%あり信頼度が薄い。これは後述するように構成刃先の生成脱落と関連するものであつて致し方のないものであると考えられる。しかしどの実験においても数回の結果の平均値をとることは多大の努力と時間を要するので、以下の実験は乾切削の寿命曲線を入念にとり、切削油を用いた場合はそれ以下

の寿命にはならないと仮定して乾切削の値と同じあるいはそれ以下の値が得られた場合は実験をやり直すようにして、普通は1回だけの実験にしたが、実際にはそのようなことは起こらなかった。したがって以下の寿命曲線においては、寿命が10分以上の場合は最大50%、10分以下の場合は20%のばらつきがあると考えねばならない。

3.2 各種切削条件の工具寿命に対する影響

以下の実験は全部切込みを2mmにして行なつた。図3はSCM3乾切削した際の送りの影響を示した図であり、送りによって工具寿命が非常に影響されることが明

図3 送りの工具寿命に対する影響

図4 送りの工具寿命に対する影響

図2 切り込みの工具寿命に対する影響

らかである。60分寿命速度を例にとると $s=0.1$ では、50m/min, $s=0.2$ では30m/min, $s=0.3$ では22m/minである。S45Cについてもこれと同様の乾切削のデータを取り、切削油を用いた場合の寿命曲線の最低線の基準とした。

図4はSCM3に1番(スピンドル油)を適用した際の寿命曲線である。図中の●は刃先に構成刃先が付着して、なかなか寿命に達しそうでないので、実験を途中で取り止めた場合を示し、(以下同じ)著者の観測では、あと50~100%は保つてであろうと考えられるものである。

図3に図4を重ね合わせれば、乾切削とスピンドル油との比較ができることになる。両者を一見していえることは、後者の寿命曲線の勾配が前者より急なことでありしかも後者は直線関係というよりは下に凸な曲線を描いていることである。切削油としては、もつとも単純なスピンドル油においてさえ、乾切削と較べると寿命延長に極めて効果的であることに注目せねばならない。寿命曲線の傾斜が急であることは、削り速度を数m落すだけで工具寿命を一桁上げることが可能であることを意味し、切削部分の冷却と潤滑に関連して、削り速度と切削油に微妙に左右されることがわかる。

S45Cについて乾切削とスピンドル油を比較したのが図5である。SCM3のときと同様に、寿命曲線の傾斜はスピンドル油の方が急である。

図5 乾切削とスピンドル油使用との工具寿命の比較 S45C

図6 被削材が異なった場合の工具寿命の比較
3番(スピンドル油80%
+塩化パラフィン20%)
使用 $d=2$, $s=0.2$

図6は3番の試験油を用いて、送りを0.2mmにしたときの、S45CとSCM3の寿命曲線を記したものである。合金鋼であるSCM3が普通炭素鋼S45Cより短寿命であるという常識的な結果が得られた。

3.3 不水溶切削油剤の工具寿命に対する効果

前項までに乾切削と切削油使用との寿命曲線の傾向の相違、切込みの影響、送りの影響、被削材の影響等を述べた。本項では、切削油の種類の影響を述べる。

SCM3, S45Cの両者について切込み2mm, 送り0.2, 0.3mm/revで8種類(表1)の不水溶性切削油の寿命曲線を取り、それぞれを比較した。ここにこれを全部載せるのは繁雑になるからいがあるので、それから取り出してまとめた一例を表3に示す。

表3 不水溶性切削油の工具寿命の比較
S45C, $d=2$, $s=0.3$ 単位 (min)

番号	種 類	削り速度	
		50m/min	45m/min
1	乾 切 削	0.25	0.85
	スピンドル油	0.6	2.1
2	菜 種 油	0.35	1.4
3	Cl 8%	1.1	6
4	S 2%	0.4	3.3
5	Cl 4%	2.5	8.5
	S 1%		
6	Cl 8%	3.7	9.2
	S 2%		
8	市 販 品	0.75	2.4
9	市 販 品	0.65	2.8

表3はS45Cを $d=2$, $s=0.3$ で $v=50$ と45で削ったときの寿命時間を各切削油について記したものである。乾切削がどの削り速度においても、もつとも短寿命であるのは当然として、2番の菜種油による工具寿命が予想外に短かく、1番のスピンドル油より短かいのは注目せねばならない。これは粘度が高くして局部への浸透性が低いことと、高温における潤滑能の劣化によるものと考えられ、低速軽切削に著効のある菜種油の使用限界を示唆したものと解されよう。

3～6番の極圧油はいずれも1, 2番あるいは8, 9番の試油より長寿命を保ち、うなずけるものであるが、4番の硫黄系添加剤だけを添加したものは、意外に寿命が短かいのが認められる。これは、硫黄の化学反応が切り屑あるいは被削材ばかりでなく、工具にまで及び、刃先の化学摩耗が促進されたものと考えられる。一方硫黄系と塩素系が共存した5, 6番にはそのようなことは認められない。これはBarcroft²⁾が述べているように、両

者が共存すると硫黄系添加剤が触媒的な働きをして反応生成物に塩化鉄のみが出来るからであろう。

ともあれ苛酷な切削条件では菜種油が無効なものと、極圧添加剤として硫黄系のみを添加したものがさほど効果的でないことが、ここで結論される。

3.4 水溶性切削油剤の工具寿命に対する効果

図7は9番のエマルジョン、図8は10番のエマルジョンを用いてS45Cを削ったときの寿命曲線で、稀釈倍率の影響をみたものである。

図7 エマルジョン型の稀釈度と工具寿命の関係 (9番)

図7では20倍稀釈がもつともよく、50倍がこれにつき10倍がもつとも悪い。このような順序になる原因を考えてみるに、10倍稀釈では冷却能が不足、50倍稀釈では潤滑能が不足、この両者の欠点を補った20倍稀釈が冷却能も潤滑能もよく、工具を長寿命に保たせるものと考えられる。寿命曲線の特徴は以下の図にも明らかなように、不水溶の寿命曲線よりさらに勾配が急なことである。これは不水溶より冷却能が大であることに起因するものと考えられる。

図8の塩素系極圧添加剤を含んだエマルジョンも20倍稀釈が良好のように観察される。図7と図8をながめただけでは両者の差異が判然としませんが、両者を重ね合わせてみると、10番のエマルジョンが9番より効果的であることがわかる。SCM3を削った場合の両者を比較できるように一つの図に記入したのが図9である。稀釈倍率は20倍の場合だけを探ったが、図に明らかなように、10番の方が、効果的である。冷却能が同程度なら極圧添加剤が混入した方が有効であるというのは切削油剤の効果が好き面の潤滑よりもげ面の潤滑に大きく寄与しているという考えに基礎を与えるようである。

図10はS45Cに対する11番(ソリュブル)の寿命曲線である。稀釈倍率は50倍も100倍もあまり差がないように思われる。図11はS45Cに対する12番(ソリュション)の寿命曲線である。50倍稀釈の方が明らかに100倍稀釈より長寿命である。これは普通のソリュション型と違って、界面活性剤と極圧添加剤が添加されて

図 8 エマルジョン型の稀釈度と工具寿命の関係 (10番, E. P. 剤添加)

図 9 エマルジョン型 } 同志の工具寿命の比較

図 12 ソリユール型とソリューション型の工具寿命の比較

図 10 ソリユール型の稀釈度と工具寿命の関係 (11番)

図 11 ソリュシヨンの稀釈度と工具寿命の関係 (12番)

いるので、100 倍では稀釈しすぎて潤滑効果を失なつたためではなからうか。またこの試油は界面活性剤が入っているの、稀釈後の表面張力も低いのであるが、もし無機塩類と有機アミンのみのソリューション型を適用すると、表面張力も高く浸透性が低く潤滑能も悪いのでこのような好結果は得られなかつたのではないかと考え

られる。

図 12 は SCM3 を $s=0.3$ で削つたときのソリューション ($\times 50$) とソリユール ($\times 50$) の寿命曲線を比較したものであるが、両者は一線の上に並び、その優劣は認めがたい。

以上を総合してエマルジョン ($\times 20$)、ソリユール ($\times 50$)、ソリューション ($\times 50$) を比較すると大きな差は認められない。これを判りやすくするために、表 3 と同じ切削条件 (S45C, $d=2$, $s=0.3$, $v=40, 50$) のところの寿命時間を取り出して表にすると表 4 のよ

うになる。表 4 には比較のために、乾切削、1 番 (スピンドル油)、2 番 (菜種油)、6 番 (不水溶でもつとも有効であつた極圧油) の値も併記した。

表 4 の中で、水溶性の 45m/min における寿命時間に $25+\alpha$ というような表現がしてあるが、これは、グラフに記入する場合には $\odot$ あるいは $\triangle$ で記載される点に相当し、25 分削つてもまだあと何分で寿命に達するか見当もつかない場合を意味している。したがつて ($25+\alpha$) と ($20+\alpha$) とではどちらが長寿命であるかは比較できない性質のものである。

表 4 工具寿命の比較
S45C, $d=2$, $s=0.3$ 単位 (min)

	種 類	45m/min	50m/min
	乾 切 削	0.85	0.25
1	スピンドル油	2.1	0.60
2	菜 種 油	1.4	0.35
6	Cl 8% S 2%油	9.2	3.7
9	エマルジョン $\times 20$	$25+\alpha$	1.2
10	エマルジョン (Cl 含) $\times 20$	$20+\alpha$	2.0
11	ソリユール $\times 50$	$23+\alpha$	1.4
12	ソリューション $\times 50$	$20+\alpha$	2.3

さて表を概観して明らかなように、水溶性同士では大きな差は認められない。しかし、不水溶と比較すると、50m/min では大きな差がないのに、45m/min では水

溶の方が一桁長寿命であることに気付く。これは寿命曲線の勾配が急であることと同義であつて、このような苛酷な切削条件（高速度鋼工具に対して）においては水溶性が、工具寿命の面では有利である。

5. 切り屑の形態および切れ刃の状況

1分以内で工具寿命に達するような場合の切り屑は、図13のAに見られるような構成刃先のつかない、カール

図 13 切削形状の変化

図 14 切れ刃の損傷状況，切削条件苛酷

しない切り屑が、排出され、切れ刃の損傷は図14の写真のようになる。10分以上寿命がもつ場合の切り屑は、まず図13のAのようなカールしない、しかし多少構成刃先の付いた切り屑（切り屑の裏面を見れば構成刃先の存在

は確認できる。），つぎにBのようなラセン状のり切屑（構成刃先はAより多い。），さらに時計のひげゼンマイのようなC型の切り屑，最後に半円形のD型の切り屑に移行する。C型D型の切り屑は工具すくい面に生成した大きなクレータがチップブレーカの役をして生成するのであるが，D型の切り屑が始めると，切削状態は安定し，クレータがさらに成長して刃先の強度が弱体化してチップングを起こさないかぎり，なかなか寿命には達しない。

図 15 切れ刃の損傷状況，構成刃先付着

このときの切れ刃は図15に見られるように，すくい角約40°の構成刃先が付着し，その先端は工具にげ面より突出しているので，被削材との摩擦に起因するにげ面摩擦は考えられず，にげ面は脱落した構成刃先によるアブレーションしか考えられない。またすくい面には大きなクレータが観察されよう。

切削の進行にしたがつて，切り屑形状の変化とともに，切れ刃のすくい角も変化し，はじめ10°であつたすくい角が40°にまで変化していくということは，すくい角何度の寿命曲線をとつているのか，基礎が薄弱になるものである。前述した寿命が10分以上の場合の寿命時間のばらつきが大きいこと，切削油を用いた場合の高速度鋼の寿命曲線のデータが少ないこと等はいずれも，構成刃先の生成と関連するものと考えられ，構成刃先を伴う場合の工具寿命実験の困難さを改めて体験した。また両対数グラフにとつた寿命曲線が下に凸になる傾向を持つのも構成刃先およびクレータの生成に起因するすくい角の変化に基づくものであろう。

したがって構成刃先を伴う場合の寿命試験は，すくい角を構成刃先のすくい角に近く30°前後にして行なつた

方が、理にかなっているように思われる。

6. ま と め

炭素鋼 (S45C) とクロムモリブデン鋼 (SCM3) をすくい角 10° の高速度鋼 4 種片刃バイトで刃先の飽摩するまで切削し、その際表 1, 表 2, に記した切削油を適用して寿命曲線を取り、それぞれの効果を比較し、つぎのような結果を得た。

不水溶性切削油剤について

1) 軽切削には著効のある菜種油が、本実験では (比較的高速重切削) 効果がなかった。これは粘度の高いために浸潤能が低いという面も考えられるが、高温における潤滑能の劣化が主原因であろう。したがって動植物油等の油性剤の使用限界が示唆される。

2) 塩素系、硫黄系の極圧添加剤は添加しただけの効果はある。しかし硫黄系のみを単独に添加したものは苛酷な切削条件では工具寿命の延長にあまり寄与しない。これは硫黄が工具の化学摩耗に寄与するためである。塩素系と硫黄系を共存させた場合にはそのようなことは起こらない。そのような場合には塩化物のみが生成し硫黄は塩化物生成の際に触媒的に働くからであろう。

水溶性切削油剤について

1) エマルジョン型、ソリュブル型、ソリュション型、それぞれ適当な稀釈倍率があり、エマルジョン型は 20 倍、ソリュブル型は 50~100 倍、ソリュション型は 50 倍が適当であつた。

ここに使用したソリュション型は、界面活性剤が相当量混入している型のものであるから、原液が、無機塩類の水溶液によつて稀釈されたソリュブル型ということが出来る。適正稀釈倍率がソリュション型の常識より低いのは、そのためであると考えられる。

2) 適当な稀釈倍率の場合の工具寿命は三者に大きな差は認められない。したがつて、その選択は価格の高低と取扱いの難易だけを考慮すればよからう。

全般的に、

(1) 寿命曲線の勾配は、乾燥切削→不水溶性切削油→水溶性切削油の順に急であり寿命時間も長い。したがつて、苛酷な切削条件下においては、他に支障のないかぎり水溶性切削油剤の使用が、有効である。

(2) 水溶性が有効な理由は、その冷却能によりよく切削局部の温度を下げ、苛酷な条件下においても適当な構成刃先を生ぜしめ、またその潤滑能によりにげ面を潤滑し、工具寿命を延長させるものと考えられる。したがつて、無機塩類を主体としたソリュション型は、有効であるとは考えられない。

終わりに本研究を御指導下さつた理化学研究所大越諄主任研究員に御礼申し上げる。また試料の提供その他でお世話になつた日本工作油 K K と理化商会の技術陣の諸氏および実験の遂行に絶えず協力した田中慎一郎、田子光啓、山田悦弘、林勝儀、慶応大学学生荒井紀晴の諸君に謝意を表する。なお研究費の一部は昭和 36 年度日本自転車振興会補助事業費によつてまかなわれた。

(1962, 1 月 11 日受付)

文 献

- 1) 竹山秀彦他：切削作業標準の設定に関する研究 (第 3 報) 18—8 不銹鋼の超硬旋削における切削剤の効果, 精密機械, 25 巻 (1959) 118.
- 2) F. Barcroft: A Technique for Investigating Reactions between E. P. Additives and Metal Surfaces at High Temperatures, Wear, Vol. 3 (1960), 440.