

切削油剤の効果に関する実験的研究 (第1報)*

—高速度鋼工具による SCM 鋼の長手円筒切削の場合—

大草喜太雄**・山本 英司**・松本 勲***

Experimental Research on the Effect of Cutting Fluid (1st report)

—In the Case of Cylindrical Turning of SCM Steel by High Speed Steel Tool—

Kitao ŌKUSA, Eiji YAMAMOTO and Isao MATSUMOTO

Abstract

Five kinds of commercial fluids are examined in the short time cutting test using the high speed steel SKH 5 and SCM steel. The effect of cutting fluids upon the cutting temperature, the cutting force and the built up edge are obtained in this test. The representative two kinds of the cutting fluids in the above test are used in the long time cutting test to estimate the effect upon the tool life.

The results show that cutting temperature and cutting force in wet cutting are lower than those in dry cutting, but tool life does not always extend in wet cutting against expectation. It is therefore noticed that the cutting fluids should be selected in accordance with the cutting purpose.

1. 緒 言

高速度鋼工具による鋼切削では、切削油剤が広く使用されていて、その効果に関する研究¹⁾²⁾も少くない。油剤の効果は冷却性と潤滑性に大別され、多数の油剤がそれぞれの切削目的に対して市販されているが、その選定は必ずしも容易でない。

筆者らはまず市販の5種の油剤を対象として短時間 SCM 鋼を削り、切削温度、切削力それと構成刃先などから油剤の効果を検討した。ついでその内代表的な2種の油剤について長時間切削を行い、乾式に比べ切削温度や切削力低下には効果があるが、工具寿命には必ずしも好影響を与えず、また油剤による大きな相異を認め、それぞれの目的に応じ油剤を選定すべきことを述べるものである。

2. 実験方法

実験に用いた装置はFig. 1のごとくで、機械は西部

電機製の汎用旋盤(主電動機7.5HP)である。工具は高速度鋼工具(SKH5相当)とし、それぞれの切刃形状はJIS表示の0°, 15°, 6°, 6°, 15°, 15°, 1.0mmである。切削条件としては削り速度 $V=3\sim 80\text{m/min}$ の範囲にて12種類に変え、切込みと送りは $d=1.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$ と一定とした。切削力の測定は動力計(機械試験所形KSA-500)により、切削温度の測定は刃先部分の平均温度を測定するため工具—被削材直接熱電対法を用い、また手動停止後の構成刃先の大きさは工具顕微鏡(30倍)で、その最高部の平均高さを測って表わした。

使用した油剤の主要性状はTable 1のごとき5種で、注油方法は2.75l/minの油剤をすくい面上方より自然流下する方式をとった。なお長時間切削における工具寿命は完全摩耗時をもってしたが、120minを経過しても完全摩耗に至らぬ場合は後出のFig. 7-aに記入の諸工具損傷量で表わした。なお被削材はTable 2のごとくで、短時間切削ではSCM 4、長時間切削ではSCM 3を用いた。

* 昭和43年8月29日日本機械学会・第46期東京秋期講演大会にて講演

** 生産機械工学教室

*** 東洋工業株式会社

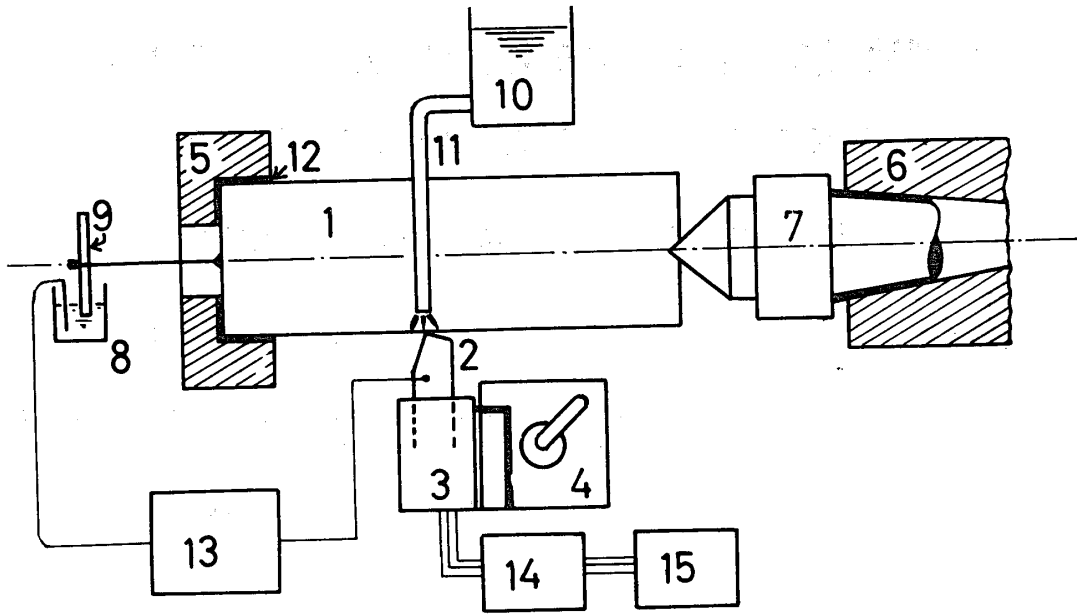


Fig.1 Experiment apparatus

Symbol

- 1: Workpiece 2: Cutting tool 3: Dynamometer 4: Tool post 5: Chuck
 6: Tailstock spindle 7: Center 8: Mercury slip-ring 9: Plate of nickel
 10: Cutting fluid 11: Pipe 12: Insulation 13: Recorder 14: Strain amplifier
 15: Recorder

Table 1 Fundamental characters of used cutting fluids

Number	JIS	Type	Kinematic viscosity (20°C)	Specific gravity(7°C)	Surface tension(9°C)	Dilution
No. 1	W 1-1	Emulsion	$1.162 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec}$	1.001 g/cm ³	0.0317 g/cm	×20
No. 2	W 1-1	Emulsion	$1.387 \times 12^{-2} \text{ } "$	1.001 "	0.0350 "	×20
No. 3	W 2-1	Soluble	$1.053 \times 10^{-2} \text{ } "$	1.009 "	0.0341 "	×30
No. 4	2-7	—	$61.600 \times 12^{-2} \text{ } "$	0.935 "	0.0331 "	net oil
No. 5	2-1	—	$20.599 \times 10^{-2} \text{ } "$	0.985 "	0.0326 "	net oil

No. 4, No. 5 are mineral oil bases.

Table. 2 Composition and hardness of work materials

Material	Chemical composition %							Hardness Hv (30kg)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
SCM 4	0.40	0.26	0.67	0.018	0.02	1.01	0.24	340
SCM 3	0.35	0.26	0.67	0.018	0.02	1.01	0.24	275

3. 実験結果および考察

3・1 短時間切削による油剤の効果

短時間切削, つまり工具がほとんど傷まず切れ味が良い状況での切削温度, 切削力とその変動および構成

刃先の高さ(H)などの関係を求めた.

3・1・1 油剤と切削温度, 構成双先の関係

まず削り速度(V)と切削温度(θ)の関係を見ると, Fig. 2のごとくいずれの油剤を使った場合も切削

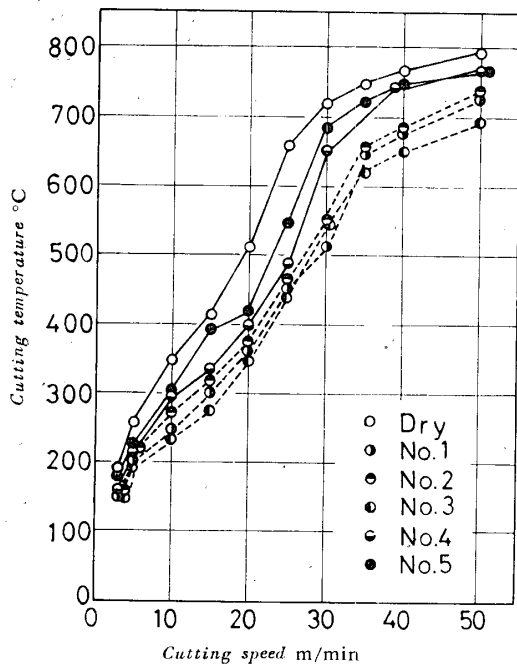


Fig. 2 Relation between cutting temperature and cutting speed

Workpiece SCM 4 $H_V=340$

温度は、約 650°C に相当する削り速度までほぼ原点を含めば放物線的に上昇するが、 650°C 以上になると削り速度が増大しても切削温度はたいして上昇していない。なおこの温度は工具材の軟化する温度域といわれている。図から切削温度は乾式>不水溶性>水溶性の順になり、水溶性の内でも冷却性の大きいソリュブルタイプが最も効果があった。各削り速度におけるそれぞれの油剤の温度差は $V < 5 \text{ m/min}$ で特に少なく、 $V > 50 \text{ m/min}$ でも比較的少い。 $V < 5 \text{ m/min}$ では発生する切削熱が少く、切削温度が低いためであり、高速では油剤が工具の刃先に達しにくくなるためと思う。

一方、油剤の切削温度に対する効果を Fig. 3 で構成刃先の高さ(H)から検討すると、V-H 図全体が油剤によって右の方に山がずれ、その程度は冷却性にすぐれるもので大きい。構成刃先の生成の著しい所では確かにその減少効果があるが、構成刃先の生成が余り顕著でなく、できて非常に弱いく低速あるいはごく高速では余り効果がないか逆効果である。水溶性の油剤で著しいが、これは切削温度の低下のためである。また同図で、ほぼ乾式で構成刃先の発生の顕著な削り速度域において油剤の効果が大き、構成刃先の高さの減少と切削温度の低下をきたす。Fig. 2 と Fig. 3 より、温度低下には水溶性の方が有効であり、構成刃先の高さの減少と高速側での構成刃先の発生を阻害する作用

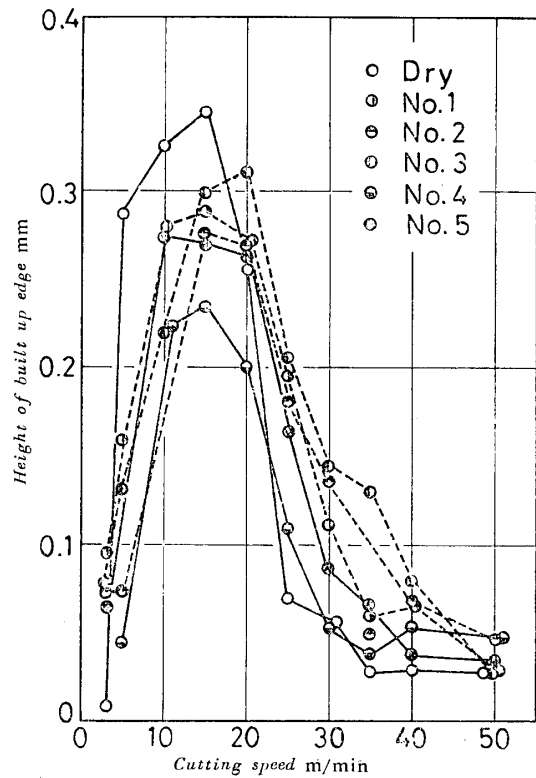


Fig. 3 Relation between height of built up edge and cutting speed

Workpiece SCM 4 $H_V=340$

は不水溶性の方が効果的である。すなわちそれぞれ冷却性は水溶性、潤滑性は不溶性の油剤の方がすぐれている。また切削温度が $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ で乾式、湿式のいずれも構成刃先の高さが最大になり、約 650°C になると、構成刃先の高さは 0.1 mm 以下に小さくなっていて、構成刃先の消滅温度³⁾ に達し以後油剤が刃先には浸入し難いものの、切削部位に対する冷却効果が特に水溶性油剤にあるものと思われる。

3・1・2 油剤と切削力、接触面積との関係

切削力におよぼす油剤の効果を主分力 (F_1) を代表として表わした Fig. 4 の V- F_1 線図を見ると、V-II 図と同様に湿式では乾式の V- F_1 線図を高速側へずらせた形になっている。なおその移動量は冷却性の著しい油剤ほど大きく、また各油剤使用時の切削力の最大値は冷却性の大きい油剤ほど小さくなっていて、 $V = 3 \text{ m/min}$ のときごく低速では水溶性の方が切削力の大きいのと逆である。すなわち切削力から見た油剤の効果は $V = 3 \text{ m/min}$ のときごく低速ではほとんどなく、乾式よりも大きな構成刃先を生ずるにもかかわらず、むしろ切削力の増大を招く。 $V = 10 \text{ m/min}$ から $V = 25 \text{ m/min}$ あたりまでは不水溶性が良く、これより高速では油剤の効果は水溶性の No. 2, 3 にある

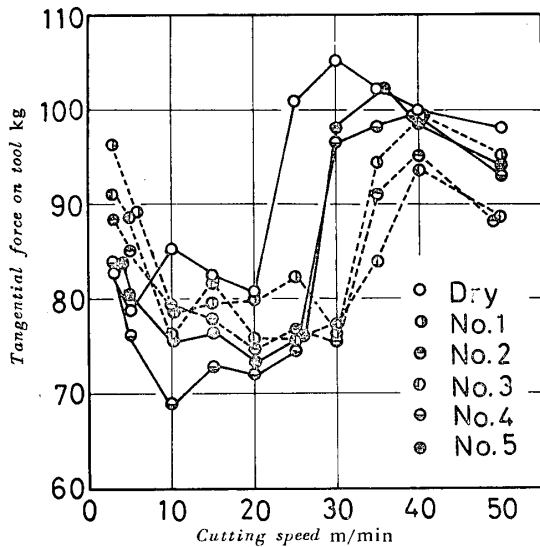


Fig. 4 Relation between tangential force and cutting speed

Workpiece SCM 4 $H_v = 340$

が、No. 1を含めると水溶性、不水溶性の間に明らかな違いは認められず、油剤の効果は単純ではない。これは油剤の切りくず—工具すくい面間の摩擦と接触面積 (Fig. 5 の V-l 線図) さらに構成刃先の形態などへの影響が重なっているためと思われる。

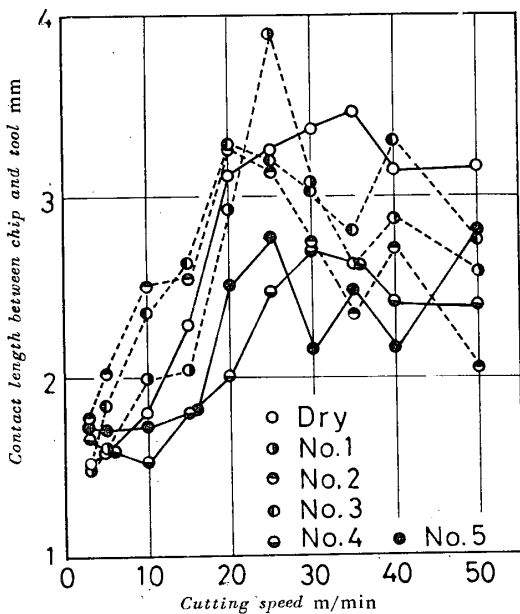


Fig. 5 Relation between contact length between chip, tool and cutting speed

Fig. 3 と Fig. 4 を対比して見ると、いずれの油剤でも構成刃先の大小と切削力の小大がほぼ対応している、構成刃先は切削力を減少せしめる有力な原因であることが確認される。しかし油剤が異ると、同一削り

速度で乾式も含めて構成刃先の大きいものが必ずしも切削力が少い訳ではない。これは前述のごとく、構成刃先のほか、油剤の摩擦、接触面積などの影響が考えられるためである。

Fig. 5 から乾式では $V > 25 \text{m/min}$ において切削力が大きいことと、接触長さ (l) が大きいことがほぼ符号し、切削温度もこの時 650°C であることから構成刃先の減少をきたし、構成刃先減少→接触長さ増大→切削力増大となったものと思われる。これに対し油剤を用いた時の接触長さは Fig. 5 の V-l 線図でごく低速では明瞭でないが、 $V = 25 \text{m/min}$ までではほぼ不水溶性の方が接触長さが小さく、Fig. 3 で不水溶性の方が水溶性よりも構成刃先の高さが低いにもかかわらず切削力が少なかったことに関係しよう。それ以上の高速では乾式よりも湿式の方が全般的に見れば接触長さが小さいため、切削力が小さいことと符号する。しかし削り速度との関係は不規則で接触長さへの効果は不明瞭である。ここで Fig. 5 で $V > 30 \text{m/min}$ での V-l 線図の不規則性は水溶性のものが構成刃先の高さ H が大きいことと関係があると思われるが、この速度域 (特に $V = 40 \text{m/min}$) では構成刃先の高いことが切削力の低下を起している。すなわち低速では不水溶性が接触面積低下をきたし、高速側では水溶性が構成刃先を高くする効果により両者の V-F₁ 線図の位置を逆転したと思われる。

Fig. 5 で No. 4 油剤の V-l 関係は乾式とほぼ相似な傾向を示し、V-H 線図、V-F₁ 線図ともほぼ対応し、その動粘度の高い特徴が現れている。

3・1・3 油剤と切削力の変動

切削力の変動は少い方がよい。Fig. 4 と Fig. 6 を比較すると、乾式では切削力の少なめの所で主分力の変動 (ΔF_1) が大きく、そこでは構成刃先の高さが大きいためであることから構成刃先が大きくなると、すなわちその生成が促進される速度では、その脱落も促進されるようすが見られる。水溶性、不水溶性油剤の主分力の変動への影響は $V = 20 \text{m/min}$ までは乾式より湿式、特に不水溶性の方が切削力の変動が少く良好で、構成刃先の成長とその脱落をある程度防止する作用を有すると見られる。これは $V = 25 \text{m/min}$ までは接触長さが増大することと関係があろう。しかし $V = 25 \sim 30 \text{m/min}$ では乾式より、特に水溶性の構成刃先の高さがかなり大きいことが、主分力の変動の大きい原因である。結局、水溶性、不水溶性では $V = 30 \text{m/min}$ までは不水溶性の方が主分力の変動、主分力の点では良いと言える。 $V > 35 \text{m/min}$ では湿式の方が乾式より良い

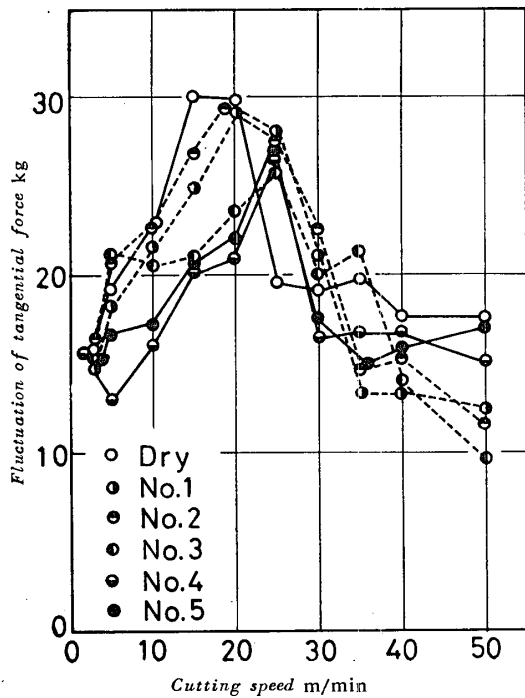


Fig. 6 Relation between fluctuation of tangential force and cutting speed
Workpiece SCM 4 $H_V = 340$

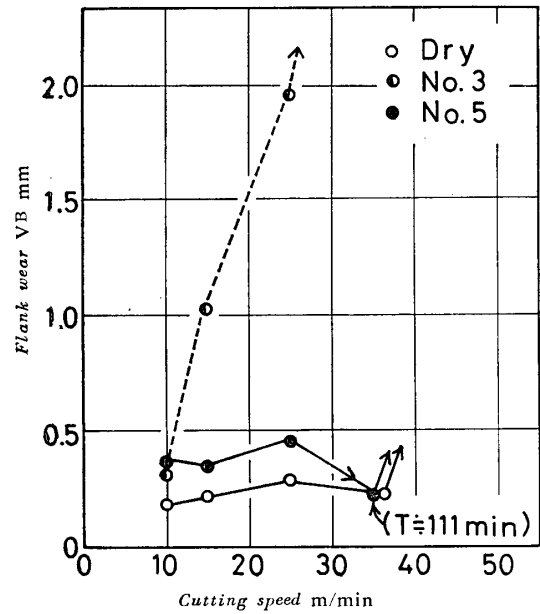


Fig. 7-b Relation between flank wear (V_B) and cutting speed
Workpiece SCM 3 $H_V = 275$
Mark (↗) shows the complete failure
Cutting time (T) is 120min.

が、主分力の変動の点では水溶性の方が若干良い。

3・2 長時間切削による油剤の効果

3・2・1 油剤の工具摩耗への影響

高速度鋼工具は耐熱性が劣るので、油剤の使用によって工具寿命の延長が期待された。しかし Fig. 7-b の $V-V_B$ (フランク摩耗帯の平均幅) の関係から性能順は乾式 > No. 5 油剤 > No. 3 油剤で、その効果はない。これは構成刃先が関係し、油剤が安定な構成刃先の成長を防止し、かつその脱落を促進するためと思われる。その程度は水溶性の No. 3 油剤において著しい。Fig. 8 と Fig. 11 において乾式と No. 3 油剤では $V-V_{B'}$ (フランク摩耗帯ノーズ部の最大摩耗幅) 線図と $V-H$ 線図がほぼ対応する。 $V = 25\text{m/min}$ までは不水溶性の効果を確認するが、 $V = 35\text{m/min}$ では $V_{B'}$ はかえって大

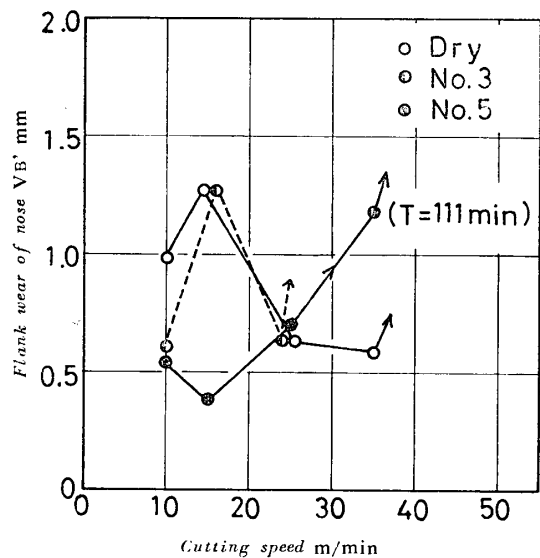


Fig. 8 Relation between flank wear of nose and cutting speed
Workpiece SCM 3 $H_V = 275$

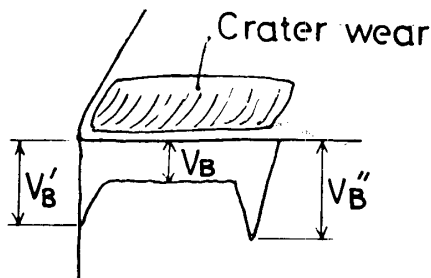


Fig. 7-a Flank wear of tool

きく、堤防破損から完全摩耗を引起し、乾式に対する効果はない。

Fig. 9 の $V-V_{B''}$ (フランク摩耗帯横切刃境界部の最大摩耗幅) 線図は Fig. 8 の傾向とは異なるが、油剤の効果の順では $V_{B'}$ の場合とほぼ同様である。なお乾式は $V-V_B$ 線図では最良であるが、 $V-V_{B'}$ 、 $V_{B''}$ 線図では

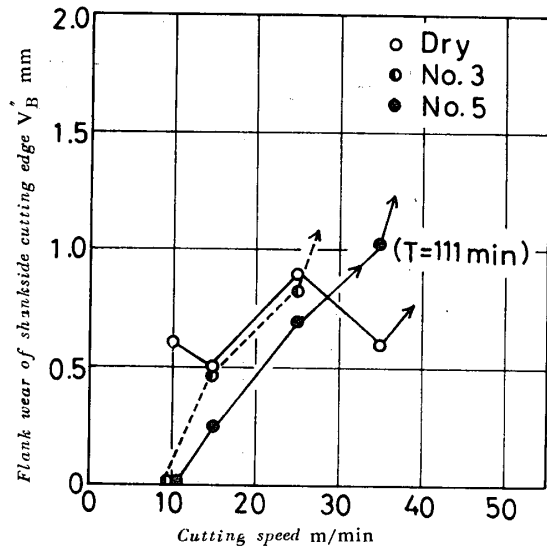


Fig. 9 Relation between flank wear of shankside cutting edge (V_B) and cutting speed
Workpiece SCM 3 $H_V=275$

最悪であることは注意を要する。

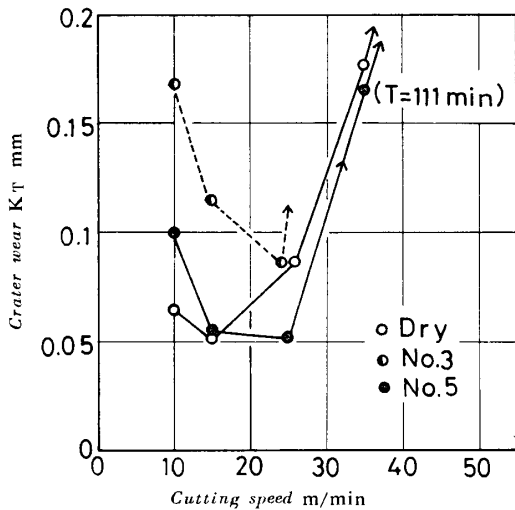


Fig. 10 Relation between crater wear and cutting speed
Workpiece SCM 3 $H_V=275$

$V-K_T$ (クレータ摩耗の最大深さ) の関係は Fig. 10のごとく乾式、湿式いずれの場合も全体的には下に凸の傾向となり、極小値を示す削り速度は乾式では $V=15\text{m/min}$ 、湿式では $V=25\text{m/min}$ となっている。この傾向を Fig. 11 の構成刃先の高さと比較して見ると、極小値より低速側では大きな構成刃先ができるが弱いので、切削中に著しく脱落し、その脱落片の悪影響と構成刃先のクレータ防止の保護作用が少く、また切くずの青熱ぜい性の悪影響⁴⁾ などのため、工具すく

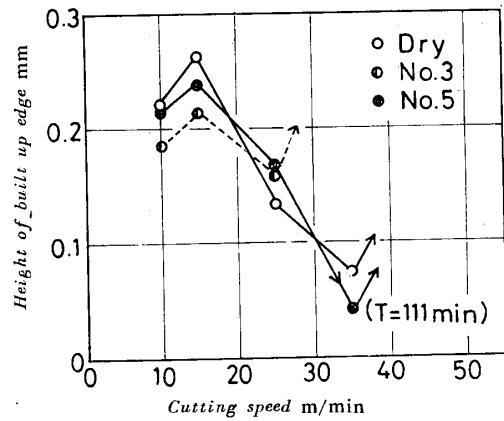


Fig. 11 Relation between height of built up edge and cutting speed
Workpiece SCM 3 $H_V=275$

い面の摩耗が促進され、クレータ摩耗を大きくしたものであると思われる。高速でクレータ摩耗が著しいのは工具が高温にさらされ、油剤が入りにくいこととあいまって工具が軟化するためであろう。不水溶性の油剤では削り速度によってはクレータ摩耗を減少させる効果もあるが、水溶性の油剤ではかえってクレータ摩耗を増大させ逆効果が著しい。

3・2・3 削り速度-寿命時間、切削温度線図による油剤の効果の検討

$V \geq 35\text{m/min}$ では120min以上の切削ができないので、Fig. 12に示すごとく完全摩耗にいたる時間にて油剤の影響を検討する。 $V=35\sim 50\text{m/min}$ つまりFig. 11にて構成刃先の高さが減少、消滅して行く速度では乾式が最も工具寿命が長く、 $V \geq 70\text{m/min}$ ではNo. 3、No. 5の両油剤共に乾式よりも工具寿命が長くなっている。しかし $V \geq 70\text{m/min}$ では工具寿命が長いものでも $T=10\text{min}$ 以内で実用的な切削条件とはいえず、高速度鋼工具の多く使用されている $V=15\sim 25\text{m/min}$ では不水溶性の方が水溶性よりも効果的である。

切削温度 ($T=3\text{min}$ つまり工具損傷を無視できる時) と工具寿命の関係はFig. 12に併記したごとく、ほぼ直線になり冷却性を主体とした油剤では直線の勾配が著しく大きく、 $V \geq 70\text{m/min}$ では切削温度 ($T=3\text{min}$ 時) の高い乾式の方が工具寿命は短い。湿式のうちでは冷却性のあるNo. 3油剤がNo. 5油剤よりも工具寿命が短く、必ずしも切削温度への効果と工具寿命の大小とは一致しない。さらにFig. 12とFig. 13とを対比して $V \leq 50\text{m/min}$ での切削温度 ($T=3\text{min}$ 時) と工具寿命の関係を見ると、切削温度の大小と工具寿命の大小が一致している。すなわちここで選んだ2種の油剤については、切削温度 ($T=3\text{min}$ 時) の低いも

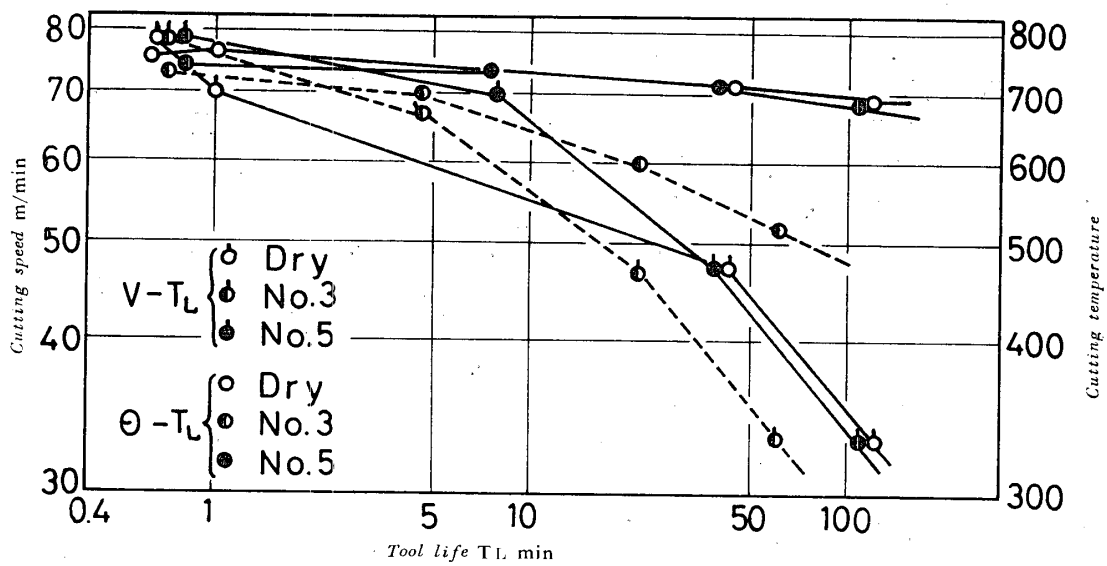


Fig. 12 Relation between cutting speed and cutting temperature and tool life

Workpiece SCM 3 $H_V = 270$

T : Cutting time

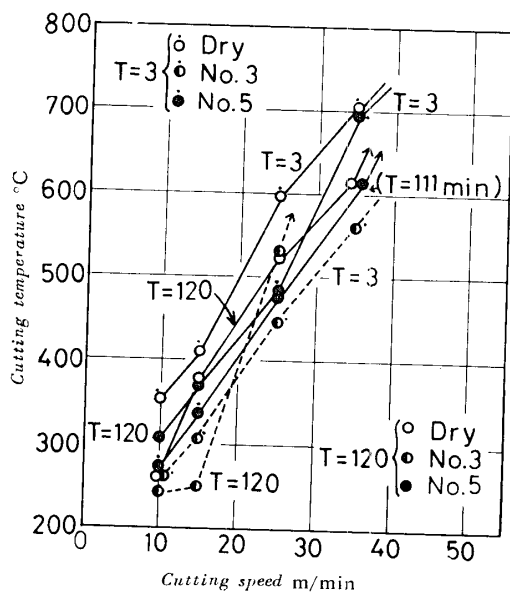


Fig. 13 Relation between cutting temperature and cutting speed

Workpiece SCM 3 $H_V = 275$

のほど、寿命時間が短くなっている。つまり湿式のうちでもこの速度域では冷却性に富む油剤ほど工具寿命が短いということが言える。このことは短時間切削における切削温度を測定して、油剤の工具寿命への影響を予想できる可能性を示す。Fig. 13で工具損傷の少ないほど、寿命に至るまでの切削温度の変化 (Fig. 13で $T = 3$ min と $T = 120$ min の時の $V-\theta$ 線図が平行に近いこと。) が少ないことになる。油剤の冷却効果によって、 $V > 35$ m/min のごとき比較的高速での工具摩擦

の減少、従って工具寿命が増大するという結果はえられず、一般に言われている油剤の冷却効果による長寿命はおよそ実用とならない高速のみでえられるにすぎず、通常速度ではむしろ冷却によって乾式より寿命が減少する。特に水溶性油剤で著しい。これは油剤が侵入しても必ずしも有効に働かず却って構成刃先を不安定にし、その脱落を促進するためと思われる。

削り速度と切削力の関係をFig. 14に示す。切削力は油剤の摩擦、接触面積、構成刃先の生成などの影響が混合し単純ではなく、かつ切削力の大小と工具損傷の大小を対応せしめることは困難である。すなわちクレ

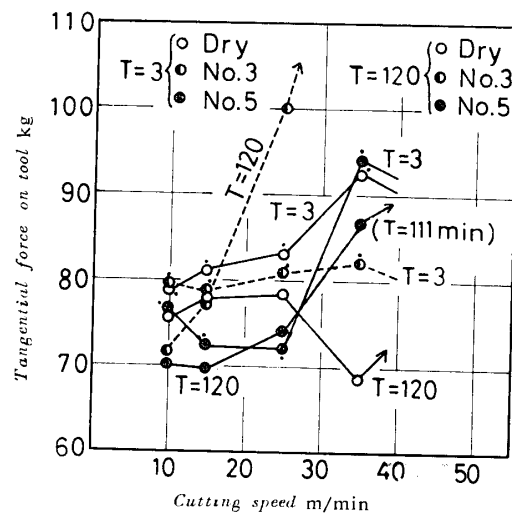


Fig. 14 Relation between tangential force on tool and cutting speed

Workpiece SCM 3 $H_V = 275$

ータ摩耗が大きくなると切削力および切削温度が減少し、フランク摩耗 V_B などの増大により増大する。実際には、両者が共に生ずるので工具傷損の進行を切削力や切削温度の大小により推定することは難しい。

Fig. 14は工具損傷量の少ないものほど切削初期と長時間切削後の $V-F_1$ 線図が変らなかつたことを結果として示している。このことは切削温度についても同様である。

4. 結 言

SCM鋼 (SCM 4) を高速度鋼工具 (SKH 5 相当) で短時間切削および長時間切削を行い、次のような結果を得た。

1) 油剤の切削温度への影響は水溶性の油剤の方が効果があるが、 $V < 5 \text{ m/min}$ では余り効果がなく、切削力の変動への効果はほとんどない。

5) $V \leq 25 \text{ m/min}$ では不水溶性の油剤がフーズ部摩耗 V_B' に効果があるが、水溶性の油剤の効果はほとんどない。

3) それぞれの油剤を用いた時の切削力、切削温度の大小と工具寿命の大小の関係は必ずしも対応しない。

4) $V \leq 50 \text{ m/min}$ の高速度鋼工具の実用の速度域で

は、短時間切削で切削温度を測定し、油剤の工具寿命への影響を予想できる。

5) 従来考えられていたことと矛盾し、乾式の方が切削温度が高いにもかかわらず、工具寿命は長い。

6) 長時間切削において、工具損傷量が少い時には結果として短時間切削における切削力、切削温度が大きく変化しなかつたことを示す。

なお、本研究では油剤の効果として仕上面あらさ、加工寸法精度、切くずの処置性も重要であるが、触れなかつた。

参 考 文 献

- 1) 篠崎, 原田: 各種切削による高速度バイトの寿命試験, 精密機械 28, No. 7, 404 (1962)
- 2) 古市, 玉村: 切削油剤が切削力に及ぼす二, 三の影響, 精密機械 32, No. 2, 196 (1966)
- 3) 中山, 井口: 構成刃先の研究 (1報), 精密機械 22, No. 6, 16 (1956)
- 4) W. Schilling: Untersuchungen über den Verschleiß von Drehwerkzeugen aus Schnellarbeitsstahl. Industrie-Anzeiger, Essen, Jg. Nr. 76-23, 1683 (1966)

(昭和45年11月14日受理)