

通常長手切削法と多段階切削試験法における 工具逃げ面摩耗特性の比較

瀬戸 雅文*・佐久間 敬 三**

The Comparison of Tool Flank Wear Characteristics between
Conventional Turning and Step Turning Tests

Masafumi SETO and Keizo SAKUMA

Abstract

Although the performance of a cutting tool has been evaluated by the tool-life value (T) or the wear-land value (V_B) obtained from the conventional turning test, it is difficult to compare the various results and to apply such data for facing or the others. It appears that the wear rate (dV_B/dL) and imaginary initial wear (V_{BO}) are more available to evaluate the machinability, if their characteristics, i.e., wear characteristics are seized thoroughly. So, in this report the flank wear characteristics, mainly the cutting-speed dependence of the wear rate and imaginary initial wear, are studied in conventional turning and step turning for carbon steel by using carbide tool. From these experiments the following results are obtained.

(1) Flank wear on side and end relief faces :

In the conventional turning, within the limited range of cutting speed, the relation between the wear rate C and the cutting speed v is given by $C = K v^\alpha$, where α and K are empirical constants. The cutting speed can be classified into three ranges in accordance with the degree of α . The imaginary initial wear is slightly influenced by the cutting speed. Above tendency agrees with the one of step turning. Especially in the middle range of cutting speed, the values of α , K and V_{BO} in the step turning are nearly equal to those in the conventional turning respectively.

(2) Boundary wear on side and relief faces :

In the conventional turning, above equation can be applied to the boundary wear in each range of the cutting speed. In the step turning test, the tool wear rate is influenced by the selecting method of cutting speed.

1. ま え が き

切削加工においては工具摩耗, 切削抵抗, 切削温度および仕上面性状など種々の事項について検討されているが, 工具寿命試験は被削性判定の重要な項目としてとくに欠くことのできないもので, その結果は経済的評価あるいは生産設計などに広く利用されている。一方, 工業

材料および工具材料の開発が進むにつれて新たに数多くの資料すなわち寿命試験結果を必要としている。

しかし, 従来から行なわれている寿命試験法を用いてこれらの資料を得ようとすれば多大の資材と莫大な労力が必要である。しかも, このようにして得られた結果には資料相互の関連性に乏しく, たとえば, ある特定の切削様式で得られた資料を他の切削様式に適用することなどにも困難があるように思われる。

* 宇部工業高等専門学校機械工学科

** 九州大学工学部生産機械工学教室

このようなことから標準試験法や工具摩耗の表示法に関する検討¹⁾²⁾, 切削様式の相違による影響³⁾⁴⁾, 迅速試験法⁵⁾⁶⁾および純摩耗論から出発した工具摩耗論⁷⁾⁸⁾に関する検討など種々の研究が行なわれているが, 必ずしも確立されるまでには至っていないように思われる。

このような現状を考慮するとき, 摩耗試験の最終結果である工具寿命には前述のような短所があるので, 寿命にいたるまでのいわゆる摩耗曲線から求められる摩耗率および仮想初期摩耗を用いた方が有利(付録で詳述)なように思われる。しかし, その適用にあたっては摩耗率および仮想初期摩耗の性格を十分に把握することが必要であろう。たとえば, 先にこの手法を正面切削に適用し通常長手切削との比較検討⁹⁾を試みたところ, とくに速度効果指数(α)が両切削様式で異なり, その適用条件などを明確にするためにはさらに基本的かつ広範囲な検討を必要とすることが確認されている。

そこで本報告では切削工具に超硬合金, 被削材に炭素鋼を用い, 切削様式の異なる通常長手切削試験と多段階切削試験を行ない, それぞれの切削様式下での逃げ面摩耗率および仮想初期摩耗の速度依存性, さらに両切削様式間の相違などについて検討し, 摩耗率および初期摩耗の性格を明確にすることを主目的とした。

2. 実験方法

使用工作機械は大隈鉄工所製 L S 高速実用旋盤 (450 × 800) である。被削材は構造用炭素鋼 (S45C) で, その成分を表1に示す。使用工具は31-3型メカニカルクランプバイトで, 工具形状は $-5^\circ, -5^\circ, 5^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 15^\circ, 0.8\text{mm}$, チップ材種は超硬合金 (P 20) である。

表1 被削材の化学成分とかたさ

	化 学 成 分					ブリネル かたさ H_B kg/mm ²
	C	Si	Mn	P	S	
S45C	0.420	0.210	0.710	0.003	0.005	178

切削条件は切込み1.0mm, 送り0.1mm/rev (両切削様式共通)で, 通常長手切削における切削速度は70, 80, 90, 100, 120, 150, 200, 250, 280, 300m/minである。多段階切削においてはある基準切削距離をあらかじめ設定し, 同一切削工具に対して数種で速度で切削を行なった。その基準切削距離および切削速度を表2に示す。なお, 表中の略号 Up, Down は速度選択方向を示すもので, Up は切削速度を上昇させる場合, Down は

表2 多段階切削における基準切削距離と切削速度

基準切削距離 ΔL_0 (m)	切 削 速 度 v (m/min)	速度選 択方向
1200	80, 100, 120, 140, 160	Up
1200	160, 140, 120, 100, 80	Down
1200	160, 140, 120, 100, 80, 60, 50, 40, 30	Down
1200	120, 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40	Down
1000	90, 105, 120, 135, 150	Up
1000	150, 135, 120, 105, 90	Down
600	100, 120, 140, 160, 180, 200, 220	Up
600	140, 160, 180, 200, 220, 250, 300	Up

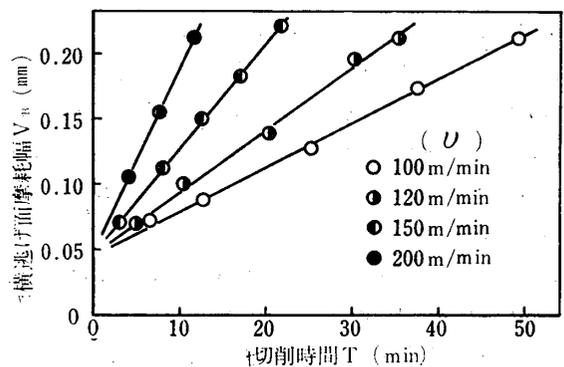
下降させる場合を示す。

工具摩耗の測定にはオリンパス光学製 S T M 形小形工具顕微鏡を用い逃げ面摩耗を測定した。なお, 通常長手切削においては横逃げ面摩耗幅約0.2mmまでの切削である。

3. 実験結果および考察

3.1 長手切削

通常長手切削における切削時間と横逃げ面摩耗幅との関係を一例として100, 120, 150, 200m/minについて図1に示す。いずれの切削速度においても工具摩耗は切



工具: 超硬合金 P 20, 被削材: S45C, 切込み: 1 mm
送り: 0.1mm/rev, 通常長手切削

図1 工具摩耗の時間経過曲線

削時間に対してほぼ直線的に増加するので, これを次のように仮定する。すなわち,

$$V_B = V_{B0} + C_T \cdot T \quad (1)$$

ただし, V_B : 横逃げ面摩耗幅 (mm), T : 切削時間 (min), V_{B0} : 仮想初期摩耗幅 (mm), C_T : 切削時間に対する摩耗率すなわち切削速度その他によって決まる

係数 (mm/min) である。さらに、(1)式を切削距離 L (m) に対して変形すると次のとおりである。

$$V_B = V_{B0} + C_T \cdot L / v$$

$$= V_{B0} + C_L \cdot L \quad (2)$$

ただし、 v : 切削速度 (m/min), C_L : 切削距離に対する摩耗率 (mm/m) である。なお、前逃げ面摩耗、横逃げ面および前逃げ面境界摩耗についても同様の仮定を行なった。

3. 1. 1 摩耗率

各切削速度ごとに求めた切削距離に対する摩耗率と切削速度との関係を図2に示す。横逃げ面摩耗では90m/min および200m/min において急変しているが、90m/

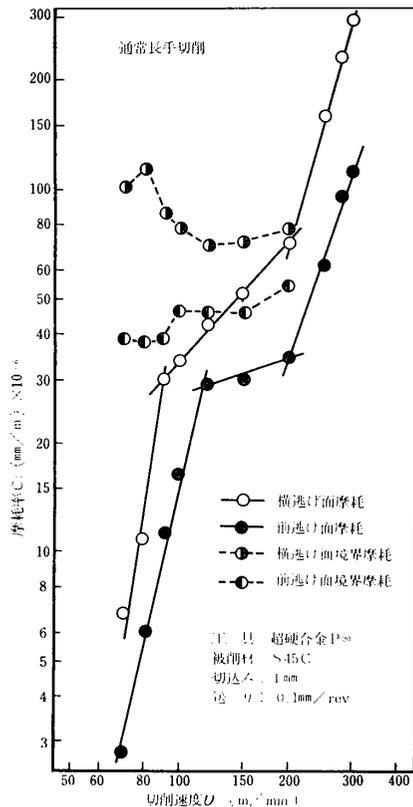


図2 摩耗率と切削速度との関係

min 以下 (低速域), 90~200m/min (中速域) および 200m/min 以上 (高速域) の各速度域内で考えると、切削速度と摩耗率との関係は両対数グラフ上ではほぼ直線的な傾向を示している。したがって、それぞれの速度域内で次のように仮定する。すなわち、

$$C_L = K \cdot v^\alpha \quad (3)$$

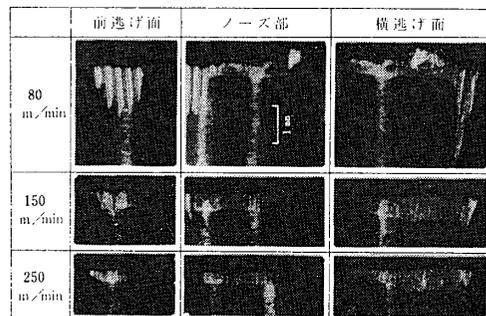
ただし、 α および K は被削材、工具材その他によって定まる定数である。なお、(2)式から切削時間に対する摩耗

率と切削速度との関係も切削距離に対する摩耗率の場合とその傾向は類似し、前述の変曲点 (摩耗率が急変する切削速度) は等しいはずである。しかし、その変曲の度合いが異なり、切削距離に対する摩耗率の方が顕著である。(図略) したがって、以下の検討は全て切削距離に対する摩耗率を用いて行なう。

前逃げ面摩耗においても横逃げ面摩耗と同様の傾向を示すが、変曲点速度がやや異なる。すなわち、低中速域間の変曲点速度が約120m/min である。なお、全体として横逃げ面摩耗よりかなり低い値を示している。

横逃げ面境界摩耗の摩耗率は前二者とはかなり異なった傾向を示している。すなわち、100~200m/min においてはほぼ一定値を示し、低速域では切削速度の低下にともない増加の傾向を示している。

前逃げ面境界摩耗においても中速域ではほぼ一定値であるが、低速域では横逃げ面境界摩耗の場合とは逆に切削速度が低下するにつれてやや減少している。



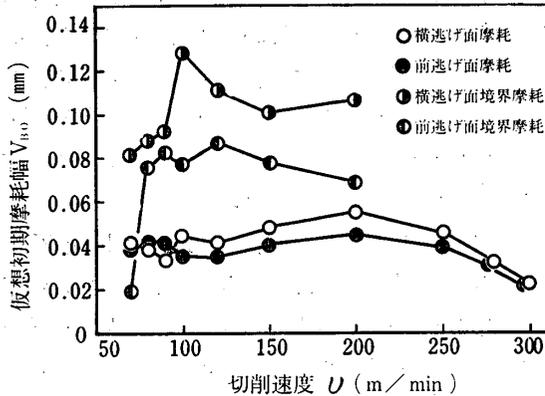
工具: 超硬合金P20, 被削材: S45C, 切込み: 1 mm, 送り: 0.1mm/rev, 通常長手切削

図3 工具逃げ面の摩耗状態

なお、図3は摩耗工具の写真を低, 中, 高速域からそれぞれ一例を選んで示したもので、図にみられるように両境界摩耗とも200m/min 以上では消失あるいは帯状摩耗 (フランク摩耗) との区別がつけ難いので、図2 および後掲図4 における表示を省略した。

3. 1. 2 仮想初期摩耗

各速度ごとに求めた仮想初期摩耗幅と切削速度との関係を図4に示す。横逃げ面摩耗の場合、全体としてはいくぶん切削速度の影響を受け、200m/min 附近に最高値を有している。しかし、前述のような速度区分を行なえば、それぞれの速度域内ではほぼ直線的で、しかも常用速度域附近ではほぼ一定値とみなすことも可能であろう。前逃げ面摩耗の場合、その傾向は横逃げ面摩耗とは



工具：硬超合金P20，被削材：S45C，切込み：1 mm
送り：0.1mm/rev，通常長手切削

図4 仮想初期摩耗と切削速度との関係

ば一致しているが，全体としてやや小さな値を示している。

境界摩耗の場合，比較的バラツキが大きいので傾向把握にやや困難はあるが，いずれも100m/min前後に最高値を有し，両逃げ面摩耗に比較して大きな値を示している。しかも，横逃げ面境界摩耗では0.1mmにも及んでいる。

3.2 多段階切削

3.2.1 摩耗率の算定とその結果

多段階切削の場合，同一工具に対して切削速度を数段階変化させ，各切削速度における摩耗増加率を求めるが，本報告では検討を容易にするためにあらかじめ基準切削距離を定めた。したがって， $i-1$ 番目および i 番目の切削速度で切削したあとの摩耗幅を V_{Bi-1} ， V_{Bi} (mm) とするとき，切削速度 v_i (m/min)における工具摩耗増加率すなわち摩耗率 C_{Li} (mm/m)は

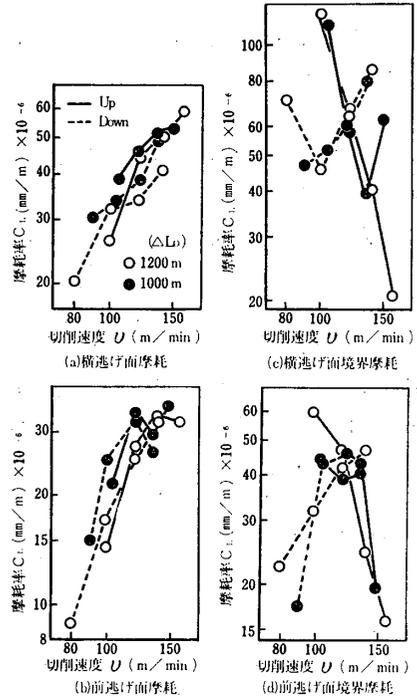
$$C_{Li} = \frac{V_{Bi} - V_{Bi-1}}{4L_0} \quad (4)$$

ただし， $4L_0$ は基準切削距離 (m)である。

3.2.1.1 速度選択方向の比較

基準切削距離1000mおよび1200mについて増速 (Up) と減速 (Down)，すなわち速度選択方向の比較を行った結果を図5に示す。

両逃げ面摩耗とも長手切削の傾向と類似しているが，横逃げ面摩耗の場合，減速方向の方が増速方向よりやや低い値を示している。前逃げ面摩耗の場合やや変動は大きいですが，Up と Down の差はほとんどないように思われる。すなわち，両逃げ面摩耗とも前歴の影響が極めて少ないように思われる。



工具：硬超合金P20，被削材：S45C，切込み：1 mm
送り：0.1mm/rev，多段階切削

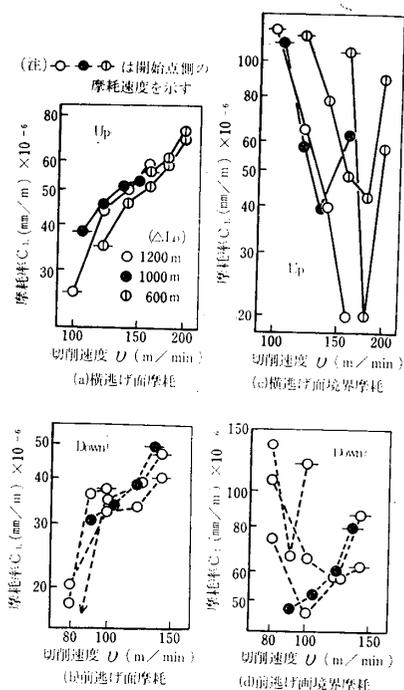
図5 速度選択方向 (Up・Down) が摩耗速度におよぼす影響

一方，境界摩耗の場合，局部的にみるとUpとDownとは全く逆の傾向を示している。すなわち，基準切削距離1200mについて比較した場合，両境界摩耗ともUpでは切削速度の増加とともに摩耗率が減少し，Downでは逆に増加している。1000mの場合比較の変動は大きいですが，1200mの場合とほぼ同様の傾向を示している。これらの結果から，両境界摩耗の場合前歴の影響が極めて大きく，いわゆる加法性が成立しないように思われる。

3.2.1.2 開始条件および基準切削距離の比較

開始時の切削条件の相違および基準切削距離の影響について検討した結果の一部を図6に示す。横逃げ面摩耗の場合いずれの切削速度から開始してもほとんどその影響がなく，基準切削距離の影響も全体としては少ないように思われる。前逃げ面摩耗の場合もほぼ同じような傾向を示すのでその図を省略した。

横逃げ面境界摩耗の場合試験開始直後の摩耗率が大きく，その後一旦減少し，再び増加するという傾向を示している。その極小点は試験開始速度の相違によってわずかに移動し，たとえば開始条件が高速側に移動すれば極小点も高速側へ移行する傾向が見受けられる。なお，基準切削距離の影響は少ないように思われる。前逃げ面境



工具：超硬合金P20，被削材：S45C，切込み：1 mm
送り：0.1mm/rev，多段階切削

図6 開始条件および基準切削距離が摩耗率に
およぼす影響

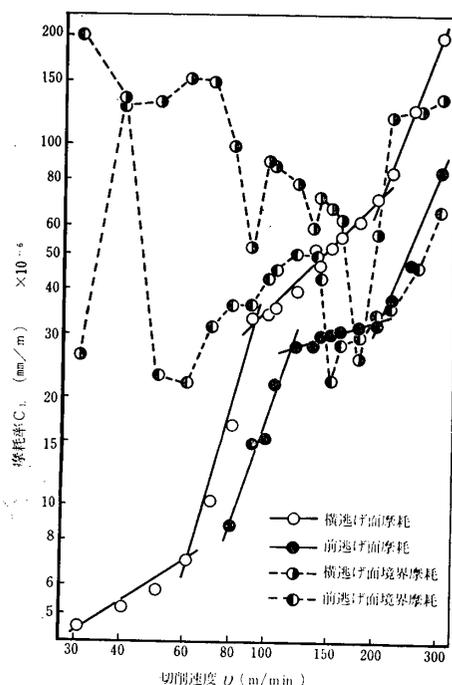
界摩耗もほとんど同じような傾向(図略)である。

3. 2. 1. 3 全速度域にわたる総合的結果

全速度域にわたる実験を同一工具で実施することは難かしいので種々の速度域(表2)で実験を行ない、その結果の一部を前二節に述べたが、横逃げ面摩耗および前逃げ面摩耗については速度選択方向、開始条件および基準切削距離の影響がほとんどみられなかった。そこで各速度ごとに平均した結果を全速度域に対して図7に示す。

図より明らかなように、両逃げ面摩耗とも長手切削の場合の傾向とよく一致している。多段階切削では60m/min以下を追加して検討したが、横逃げ面摩耗では60m/min以下でさらに勾配が異なることが判明した。なお、このような低速域では境界摩耗の発達が著しく、とくに前逃げ面では溝幅の急増によって帯状摩耗部の測定が難しいので、その測定を省略した。

境界摩耗は前述のように前歴の影響を受けるので単純に算術平均すべきではないが、本実験範囲内では前歴の影響を定量的に把握するまでには至らず、これを考慮できなかつたので、各速度ごとに単純平均し参考値とした。その結果を図7中に示す。



工具：超硬合金P20，被削材：S45C，切込み：1 mm
送り：0.1mm/rev，多段階切削

図7 摩耗率と切削速度との関係(総合)

3. 2. 2 仮想初期摩耗値の算定とその結果

多段階切削における仮想初期摩耗値は次のように算定される。すなわち、(4)式における摩耗率 C_{Li} が切削速度に対して(3)式の関係有するものとすれば、摩耗率 $C_{L2} \sim C_{Ln}$ から α , K が求められ、これを用いて第1速度の摩耗率 C_{L1} を推定し、仮想初期摩耗幅を含まない第1速度に対する摩耗幅 ΔV_{B1} (mm) を算定することができる。すなわち、

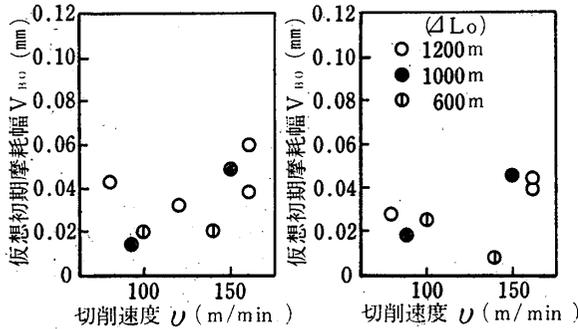
$$\Delta V_{B1} = K v^\alpha \Delta L_0 \quad (5)$$

したがって、仮想初期摩耗幅 V_{B0} (mm) は

$$V_{B0} = V_{B1} - \Delta V_{B1}$$

として求められる。ただし、 V_{B1} は第1速度での全摩耗幅(mm)である。

ところで、(3)式は速度域を区分すれば成立すると考えられるので、このことを考慮して図8に示すような結果を得た。前述のように、両逃げ面摩耗の場合、摩耗率は基準切削距離の影響をほとんど受けないように思われるが、仮想初期摩耗は基準切削距離が短いほど小さな値を示している。



(a) 横逃げ面摩耗 (b) 前逃げ面摩耗

工具：超硬合金P20，被削材：S45C，切込み：1 mm
送り：0.1mm/rev，多段階切削

図8 仮想初期摩耗と切削速度との関係

3.3 両切削様式間の総合的比較による考察

3.3.1 摩耗率とその速度効果指数

横逃げ面および前逃げ面摩耗の場合，その摩耗率と切削速度との関係は，ある限られた速度域内ではほぼ直線的で(8)式が成立する．その傾向は両切削様式とも極めてよく一致している，そこで，それぞれの速度域ごとに(8)式中の α ， K を求めると表3に示すとおりである．

表3 α および K の実験値

(a) 横逃げ面摩耗

切削速度 v (m/min)	36~60	60~90	90~200	200~300
α	長手切削	5.883	1.004
	多段階切削	0.631	3.685	1.022
K	長手切削	8.5×10^{-17}	3.4×10^{-7}
	多段階切削	5.2×10^{-7}	1.8×10^{-12}	3.1×10^{-7}

(b) 前逃げ面摩耗

切削速度 v (m/min)	70~120	120~200	200~300
α	長手切削	4.371	0.354
	多段階切削	2.628	0.371
K	長手切削	2.8×10^{-14}	5.3×10^{-6}
	多段階切削	9.4×10^{-11}	4.6×10^{-6}

両切削様式間の比較を行なった場合，両逃げ面摩耗とも中速域ではよく一致しているが，高・低速域では多段階切削の速度効果指数 α がいずれもやや小さな値を示している．その理由としては見掛上，多段階切削における切削中断が考えられる．というのは中速域に比較して高・低速域における α 値が両切削様式とも大きく，切削速度すなわち切削温度に大きく影響されると考えられるからである．すなわち，高速域では竹山らの報告¹⁰⁾に

もみられるように工具摩耗の温度依存性が強く，わずかな温度変化が摩耗率に影響するものと考えられる．一方，低速域では切削速度が低下するにつれて摩耗率は急激に減少するが，これは溶着物あるいは構成刃先の保護作用によるものと考えられ，これらの溶着物も刃先温度に大きく影響される¹¹⁾からである．しかし，本実験の測定条件を考えると，たとえば300m/minにおける摩耗量の測定は長手切削の場合30secごと，多段階切削の場合基準切削距離600mつまり2min切削後の測定であり，切削中断による温度変化が主たる原因とは考え難い．

その理由としては，むしろ測定回数増加にともなう前歴の影響を考えるべきであろう．すなわち，表2に示すごとく中速域では試験開始直後の測定点が集中しているのに対して，低・高速域ではかなりの測定回数を経た後の測定点が示されている．たとえば前出例300m/minの場合試験開始後第7番目の測定点であり，同一工具に対する測定回数が増加するにつれて前歴の影響が現われるものと推察される．なお，多段階切削試験開始直後の測定値は長手切削の結果と対応し，かつほぼ一致すべきものと考えられる．

境界摩耗の場合，前述のように前歴の影響が著しく，多段階切削の結果は複雑な傾向を示している．各速度ごとに多段階切削の結果を長手切削と比較した場合，横逃げ面境界摩耗では90，135，180m/minを除けば長手切削の場合とほぼ一致している．これら3点は図5および図6にみられる極小点に支配され，長手切削の場合より低い値を示している．前逃げ面境界摩耗の場合も一部(70~150m/min附近)は長手切削の場合とほぼ一致しているが，150m/min附近で急激に摩耗率が減少し，その高速域まで前逃げ面摩耗とはほぼ平行している．

以上のように境界摩耗は前歴の影響が著しく，速度選択方法に支配され，多段階切削の摩耗率は長手切削の場合より小さな値を示す傾向が強い．

3.3.2 仮想初期摩耗の比較

長手切削試験における初期摩耗は浅野ら⁵⁾の実験結果にもみられるように簡略化の意図からとくに速度に無関係な定数とみなすことも可能であるが，摩耗特性把握という面から考えると本質的には速度依存性を無視することはできないように思われる．

多段階切削試験の場合，本実験範囲内では前述の速度依存性が不明確である．長手切削と比較した場合基準切削距離1200mではほぼ等しい値を示しているが，基準

切削距離が短くなるにつれて減少する傾向を示している。すなわち、摩耗率に対してはほとんど影響がないと思われる基準切削距離が仮想初期摩耗に対してはかなり大きく影響するように思われる。

なお、多段階切削を寿命試験法として採用しようとする場合、この初期摩耗値の決定には問題が残る。すなわち、摩耗率については同一工具で数点の測定が可能であるが、初期摩耗値は1点しか得られず、しかも測定値のパラッキも通常長手切削の場合に比較して大きい。したがって、2～3の測定値から全体を予測することに多少困難があるように思われる。

4. む す び

炭素鋼に対する超硬工具の切削試験において、 V_B-T 曲線を直線近似し長手・多段階切削の両面から摩耗率および初期摩耗について検討した結果次の結論を得た。

〔A〕横逃げ面および前逃げ面摩耗の場合

(1) 両切削様式とも摩耗率に対する速度効果指数 α が切削速度域によって異なり、低・中・高速度域に区分される。すなわち、上記各速度域内において(3)式の仮定が成立する。

(2) 中速域では両切削様式の α 、 K の値がよく一致する。しかし、高・低速域ではわずかに前歴の影響を受け、多段階切削の α がやや小さな値を示している。

(3) 初期摩耗値はやや速度依存の傾向を示し、200 m/min 附近に最大値を有するが、各速度域内での直線近似または常用速度域附近で一定値とみなすことも可能である。

(4) 多段階切削の初期摩耗値は基準切削距離が短くなるほど小さくなる傾向を示している。したがって、長手切削に比較して小さくなりがちである。

〔B〕横逃げ面および前逃げ面境界摩耗の場合

(1) 長手切削においては両境界摩耗とも摩耗率と切削速度との関係は各速度域ごとにほぼ(3)式で仮定できる。

(2) 多段階切削の場合前歴の影響が極めて大きい。その傾向としては速度選択方向に関係なく極小値を示し、開始条件の相違は極小点速度を左右することなどがあげられる。なお、基準切削距離の影響は少ない。

(3) 長手切削の初期摩耗値は両逃げ面摩耗の場合と同様に速度依存性を有する。多段階切削の初期摩耗値は摩耗率と切削速度との関係が定量的に得られず、その算

定が不可能である。

〔付録〕 摩耗率および仮想初期摩耗について

従来、工具の性能あるいは被削材の被削性を検討するのに工具寿命または一定時間(距離)切削後の摩耗量で示される場合が多いが、これらの値は他の条件が同一な場合においても前者は寿命基準値、後者は切削時間の選定値によって異なる。

そこで、摩耗率および仮想初期摩耗幅の数値を用いると少なくともこれらの条件が省かれて、より一般的な資料となる。たとえば、比較的摩耗量の大きい、つまり長時間切削後の被削性を検討する場合には初期摩耗を無視して摩耗率の大小のみによって評価することも可能であろう。さらに詳細な検討を必要とする場合には V_{B0} 、 α および K を用いて以下のような工具性能の評価が可能である。

すなわち、 V_{B0} 、 α および K が定数と仮定し得る範囲内では、これまで一般に用いられている工具寿命あるいは一定時間切削後の摩耗量などを必要に応じて求めることができる。いま、本文中の(3)式を(1)式に代入して

$$V_B = V_{B0} + K v^\alpha L \quad (a)$$

ただし、記号はすべて本文と同じ。

(a) 式から、寿命基準 V_{BLIFE} (mm), 任意の切削速度 v (m/min) における寿命時間 T_{LIFE} は

$$T_{LIFE} = \left(\frac{V_{BLIFE} - V_{B0}}{K} \right) / v^{\alpha+1} \quad (b)$$

また、(b) 式を変形して Taylor の寿命方程式を導くと

$$v(T_{LIFE})^{\frac{1}{\alpha+1}} = \left(\frac{V_{BLIFE} - V_{B0}}{K} \right)^{\frac{1}{\alpha+1}} \quad (c)$$

一方、任意の切削速度 v 、切削時間 T における摩耗量は

$$V_B = V_{B0} + K v^{\alpha+1} T \quad (d)$$

として求められる。

通常長手切削の結果から多段階切削における n 番目の切削速度までの累積摩耗量は両切削様式の V_{B0} 、 α および K が等しいと仮定すれば

$$V_{Bn} = V_{B0} + \sum_{i=1}^n K v_i^\alpha L_i \quad (e)$$

正面切削に対しても次のように算定⁹⁾される。すなわち、切削個数 n までの摩耗量は

$$V_B = V_{B0} + n \left\{ K \left(\frac{\pi}{1000} \right)^{\alpha+1} \sum_{i=0}^{m_0-1} (D \pm 2if)^{\alpha+1} \right\} N^\alpha \quad (f)$$

ただし、 N : 主軸回転数 (rpm), m_0 : 1 個の被削材を切削終了するまでの回転数 (rev), D : 被削材の内径

または外径 (mm), f : 送り (mm/rev), 正負の符号は正の場合内側から外側, 負の場合外側から内側に向う切削を示す。

以上のように, 摩耗進行曲線から求められる一組の資料を用いることによって工具性能あるいは被削性に対する種々の推定あるいは評価が可能である。しかし, その適用にあたっては摩耗率や仮想初期摩耗の性格を十分に把握することが重要である。

参 考 文 献

- 1) R.A. Eiherridge, T.C. Hsü: The Specific Wear Rate in Cutting Tools and Its Application to the Assessment of Machinability, C.I.R.P., Vol 18, (1970) 107
- 2) K. Uehara: Characteristics of Tool Wear based on the Volume of Flank and Crater Wear (A Proposal on the Measurement of Tool Life), C.I.R.P., Vol 24, 1 (1975) 59
- 3) 関口, 竹山, : 切削速度が連続的に変化する場合の工具寿命, 精密機械, 39, 11 (1973) 36
- 4) T.S. Kiang, G. Barrow: Determination of Tool Life Equation by Step Turning Test, Proceeding of 12 th International Machine Tool Design and Research Conference, P 379
- 5) 浅野, 室伏, 榎多: 超硬工具の寿命試験法の研究 (第3報), 精機学会春季大会前刷集, (1971) 43
- 6) G. Lorenz, A. V. Gibson: Comprehensive Toolwear Equations obtained from Accelerated Facing Test, Microtecnic, 24, 4 (1973) 194
- 7) 石橋, 甲木: 切削工具の摩耗の基礎式およびその実用化 (第1報 基礎式と二, 三の結果), 精機学会長崎地方講演会前刷集, No. 708-2, P 29
- 8) M. C. Shaw: Fundamentals of Wear, C.I.R.P., Vol 19, (1971) 533
- 9) 瀬戸, 田戸: 工具摩耗特性 (第1報), 日本機械学会・精機学会長野地方講演会前刷集, (1974) 289
- 10) 竹山, 村田: 工具摩耗の温度依存性, 精密機械, 27, 1 (1960) 33
- 11) 中山, 井口: 構成刃先の研究, 精密機械, 22, 3 (1956) 104

(昭和53年9月1日受理)