

1 特 別 研 究

「金型治工具加工技術の向上に関する研究」

1-1 CBNおよびセラミック工具による焼入鋼の 正面フライス仕上げ切削

泊 誠
前 野 一 朗

1. はじめに

焼入鋼の仕上げ加工は一般には研削加工を行っているが、研削加工は1回当りの切屑除去量が少ないため、加工能率の点からは能率的な加工ではない。このため、1回当りの切屑除去量の多い切削により焼入鋼を加工できれば都合が良い。

近年工具材料の発達により、CBNあるいはセラミック等の工具が開発されたが、これらの工具は従来の超硬工具よりも高温特性が良く、また硬さも硬いために、焼入鋼のような高硬度の材料の切削には向いているものと考えられる。

このため、筆者等もこれまでCBNおよびセラミック工具により焼入鋼の仕上げ旋削について検討し、その結果を二報にわたって報告した。

本報告ではこれをさらにすすめ、CBNおよびセラミック工具により焼入鋼のフライス仕上げ切削を行ない、工具摩耗、損傷、工具寿命および仕上げ面粗さについて比較検討した。

2. 実験方法

2-1. 工具と使用機械

工具はCBN、セラミック共に国産のもので、それぞれT社、S社のものである。

CBN工具は断続切削に有効とされる材種であ

り、セラミック工具は Al_2O_3 + 炭化物系セラミックで、高硬度材の中高速フライス仕上げに有効とされる材種である。工具諸元は表1に示すとおりである。

表1. 工具諸元

工 具	CBN	セラミック
組 成		Al_2O_3 +炭化物系
ホーニング角(度)	25	25
ホーニング幅(mm)	0.1	0.15
ノーズ半径(mm)	0.8	0.8
アキシアルレーキ(度)	-5	-5
ラジアルレーキ(度)	-6	-6
アブローチアングル(度)	25	25

使用したフライス盤は、豊田工機㈱、ZIC型(1963年)であるが、切削試験には何らの支障もない。

2-2. 被削材

被削材はSKD11である。真空熱処理により1,030℃焼入れ、180℃焼戻し処理後の硬さはHRC60~60.5である。

化学分析値と組織を表2、写真1に示す。

なお被削材寸法は70W×60H×135Lで

表2. 被削材の化学分析値(%)

被 削 材	C	Si	Mn	S	S	Cr	Mo	V
SKD11	1.41	0.33	0.48	0.022	0.008	11.07	0.94	0.31

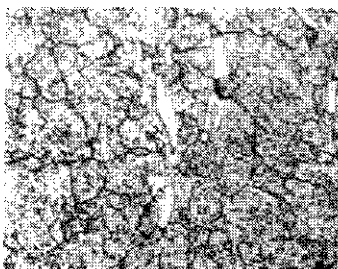


写真 1. 被削材の組織 (×400)

あるが、被削材の高さ方向には一刀当りの切削弧長さが一定になるようにするため、切削始め側のみ工具回転半径と等しい40Rの半円筒状のぬすみ加工が施されている。

2-3. 実験条件

切削速度、切込み等の切削条件は表3に示すとおりである。

試験に当っては、試験回転数と同じ回転数で2時間の無負荷運転を行なった後、被削材の表面を他のチップで切削して試験を開始した。工具の送りは一方向送りとし、工具の抜け側では1回の切込みごとに切残しをとり、1刃の切削弧の長さが一定となるようにした。従って被削材には、1回

表 3. 切削条件

工 具	C B N	セラミック
切 削 速 度 (m/min)	200, 256, 389, 605	200, 256, 389
切 込 み (mm)	0.1	0.1
送 り (mm/刃)	0.03 ~ 0.04	0.03 ~ 0.04
オフセット (mm)	0	0
エンゲージ角 (度)	61	61
ディスエンゲージ角 (度)	61	61
切 削 方 式	一枚刃乾式	

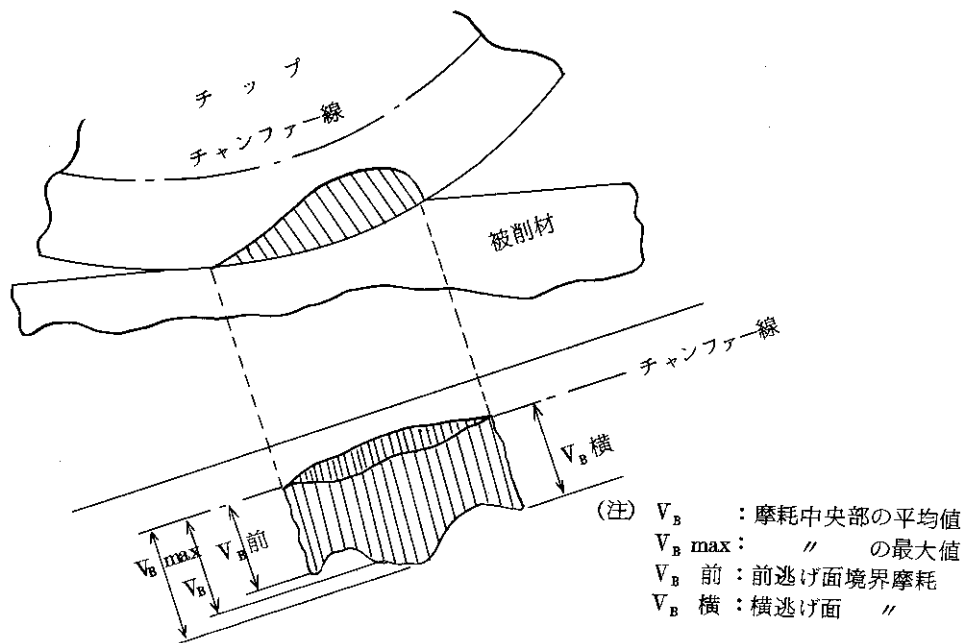


図 1. 工具摩耗測定位置

の切削ごとに円弧状の段が残ることになる。

工具摩耗は概略図1に示す形態となるが、工具寿命は摩耗中央部の平均摩耗 V_B が 0.2 mm 又は 0.3 mm に達するときとする。

仕上げ面あらさはレプリカによる。

3. 結果と考察

3-1. 工具損傷と摩耗

CBN工具について

写真2にCBN工具の摩耗状況を示す。

CBN工具においては、逃げ面の平均摩耗 V_B が 0.3 mm に達するまで切削した。

工具の摩耗経過は終始安定しており、大きなチップング、欠損等は起っていない。しかし切削速度が高い場合は、 V_B が 0.2 mm を越すあたりから摩耗面がかなり大きな表面あらさを呈するようになり、微小チップングが切削中に起っていると考えられる摩耗面が観察された。写真2の $V=389$ 、 605 m/min の $V_B=0.3\text{ mm}$ でこの様子がわかる。

この切削試験では、切込み 0.1 mm 、送り 0.03 mm ～ 0.04 mm と条件が小さいため、クレータはホーニング面に発生し、深さ方向に成長していく。

クレータの概略は図2のようになっており、写真でもこの様子がわかる。

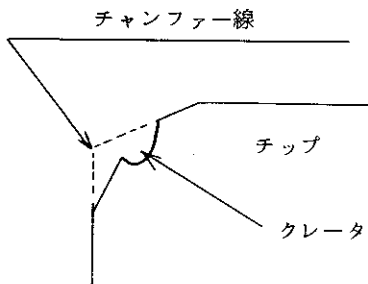


図2. クレータ形状の概略

セラミック工具について

写真3にセラミック工具の摩耗状況を示す

セラミック工具は、 $V_B=0.2\text{ mm}$ 付近で逃面の欠損を生じたが、欠損に至るまでは通常摩耗を呈する。

欠損は、切削速度 $V=200$ 、 389 m/min においては、逃げ面とくに境界摩耗付近に生じた。

$V=256\text{ m/min}$ においては、逃げ面からすくい面に至るすくい面の剥離状の欠損を生じた。この状況は写真3に示されている。

このような切刃の欠損により、当然のことであるが仕上げ面あらさは極端に悪くなる。

また $V=389\text{ m/min}$ においては、 $1\sim2\text{ min}$ 切削時にクレータ周辺部のチャンファー線と反対側に、すくい面の小さな剥離を生じたが、この剥離は後成長することなく切削には支障なかった。

また、CBN工具で確認された逃げ面の表面あらさが粗大化する傾向は見られなかった。

クレータ摩耗は、図2に示したCBN工具の場合と同様な傾向を示した。

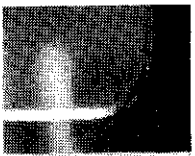
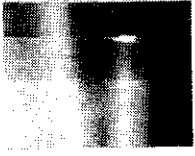
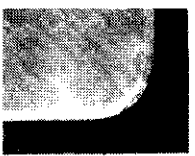
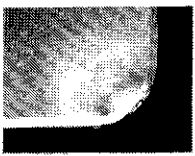
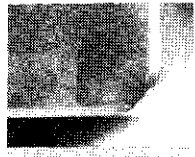
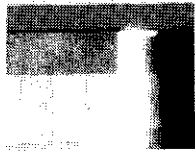
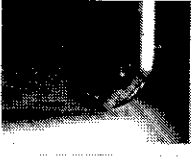
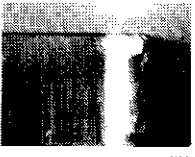
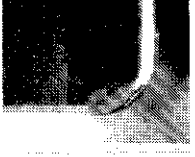
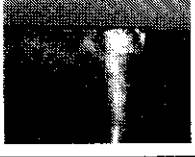
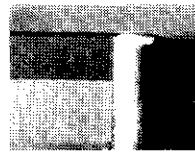
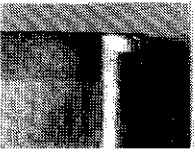
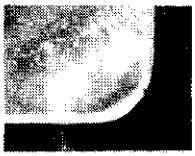
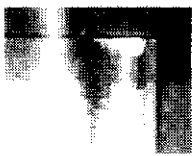
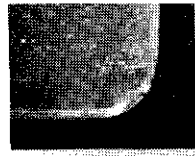
切削速度	1 min 時	$V_B \approx 0.2$ mm	$V_B \approx 0.3$ mm
m/min 200	 	 	 
	1 min	1 2.7 3	1 3.4 1
256	 	 	 
	1	1 0.0 3	2 3.6 7
389	 	 	 
	1	6.5 8	1 5.4 3
605	 	 	 
	0.8 3	1.6 6	4.1 2

写真2. CBN工具の摩耗状況

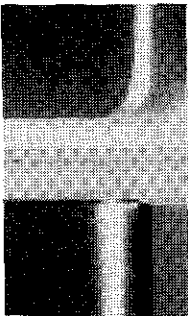
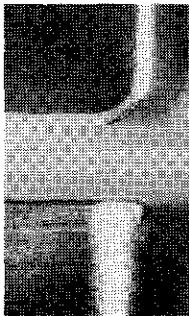
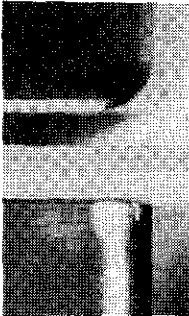
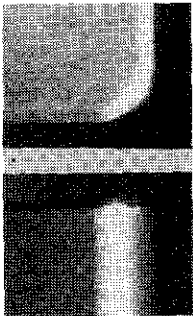
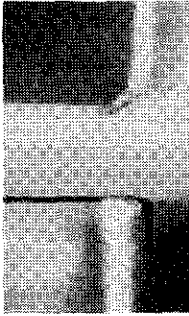
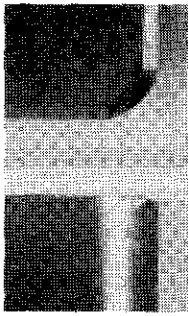
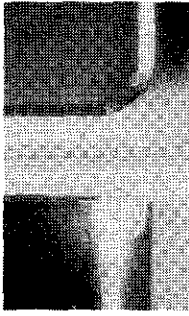
切 削 速 度	1 min 時	$V_B \approx 0.2 \text{ mm}$	終 了 時
m/min 200			
	1 min	45	58.2
256			
	1	21.8	23.5
389			
	1	6.6	8.8

写真3. セラミック工具の摩耗状況

3-2. 工具の摩耗経過

CBN工具の場合

図3～6に逃げ面中央の最大摩耗と境界摩耗の経過を示す。

図中 $V_B \max$ 、 V_B 前、 V_B 横はそれぞれ逃げ面中央最大摩耗、前逃げ面境界摩耗、横逃げ面境界摩耗を示している。

$V = 200, 605 \text{ m/min}$ においては前逃げ面

境界摩耗が小さいが、各切削速度とも安定した摩耗経過を示している。このことは前述したように切刃のチッピング、欠損等が起らなかったことによる。

また各部の摩耗経過に顕著な差が見られないのは各部がほぼ均等に摩耗したことを示している。なお図3で前逃げ面境界摩耗が示されていないのは、境界摩耗と逃げ面中央摩耗とを識別できなかったためである。

なお試験終了時において、各切削速度とも、逃げ面中央最大摩耗は 0.3 mm を越しているが、継続して切削可能な状態である。

図7は逃げ面中央の平均摩耗経過である。

$V = 605 \text{ m/min}$ の摩耗経過は、これより低い切削速度の場合より摩耗速度がかなり早く約 4 min で V_B は 0.3 mm に達した。このことからHRC60程度の高硬度材料のフライス切削に対して、 $V = 605 \text{ m/min}$ は早すぎる。

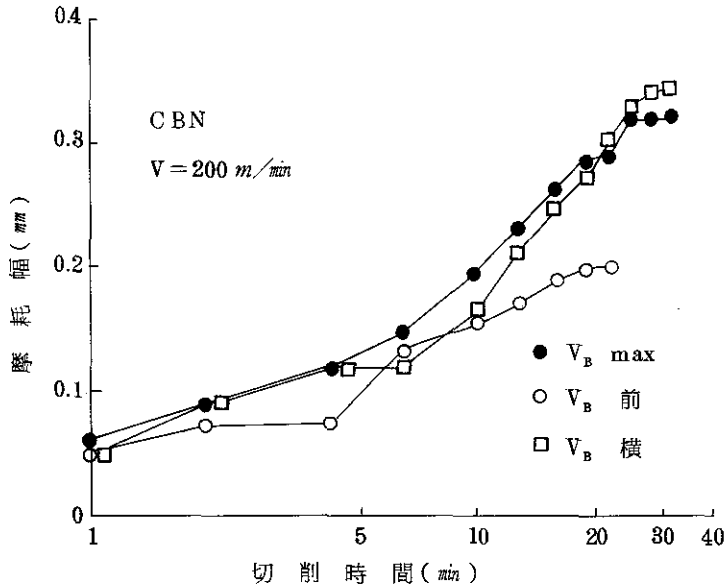


図3. CBN工具の摩耗経過(1)

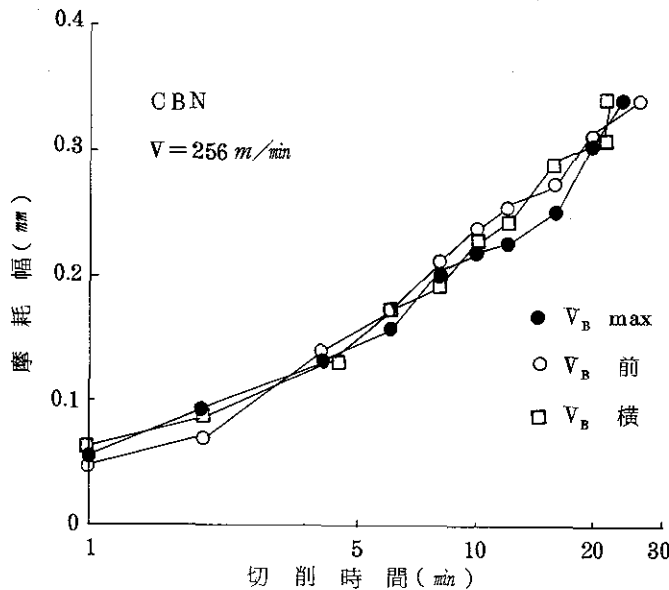


図4. CBN工具の摩耗経過(2)

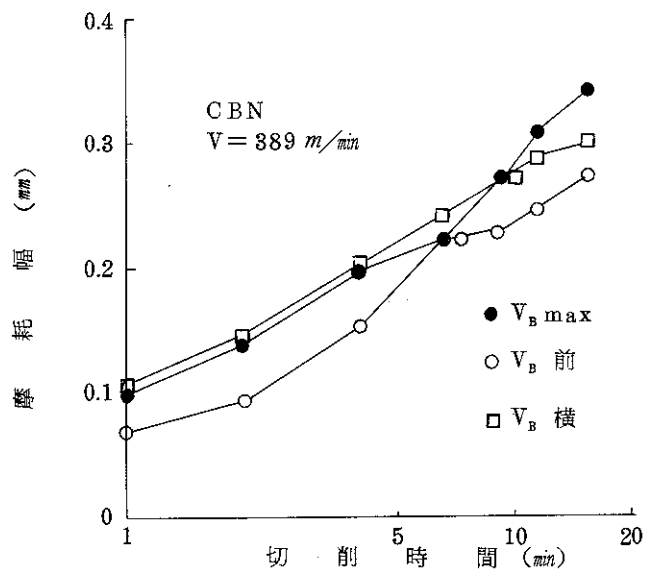


図 5. CBN 工具の摩耗経過(3)

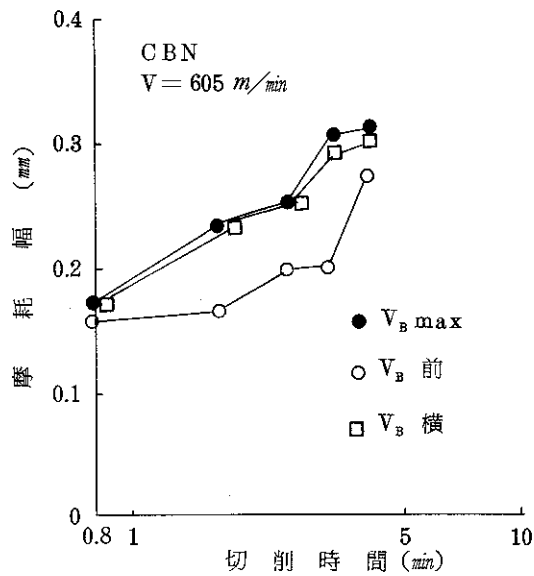


図 6. CBN 工具の摩耗経過(4)

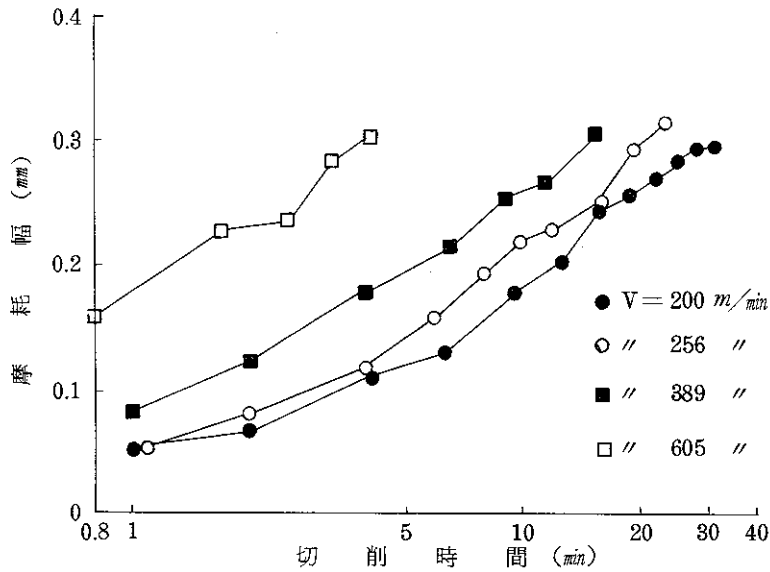


図 7. CBN 工具の逃げ面中央平均摩耗 (V_B)

セラミック工具の場合

図 8 ~ 10 に逃げ面中央の最大摩耗および境界

摩耗の経過を示す。 $V = 389 \text{ m/min}$ においては

横逃げ面境界摩耗がいく分小さいが、その他はほぼ

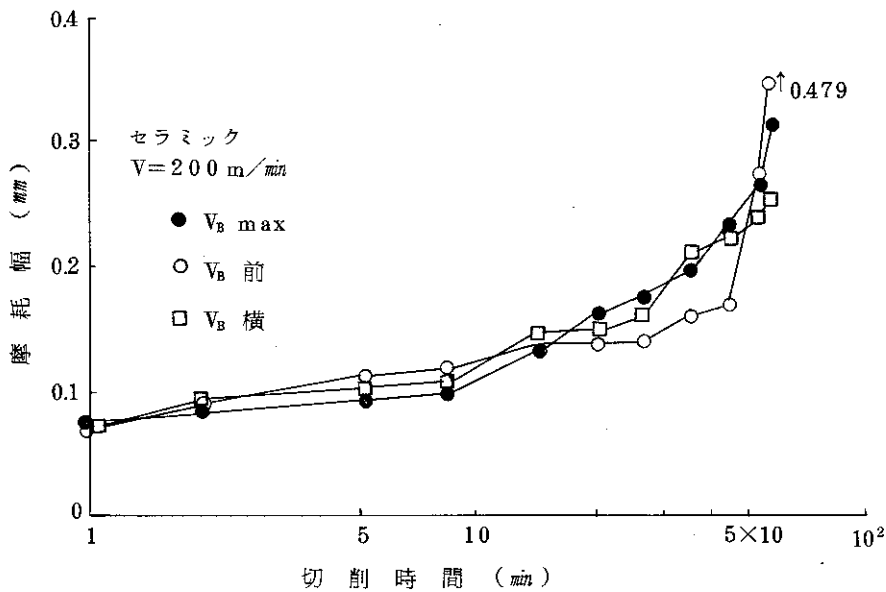


図 8. セラミック工具の摩耗経過(1)

均一に摩耗していったことがわかる。つまり逃げ

面中央、あるいは境界部での顕著な摩耗はなかつ

た。

しかし、 $V_a = 0.2 \text{ mm}$ 付近に達すると、前日のよう

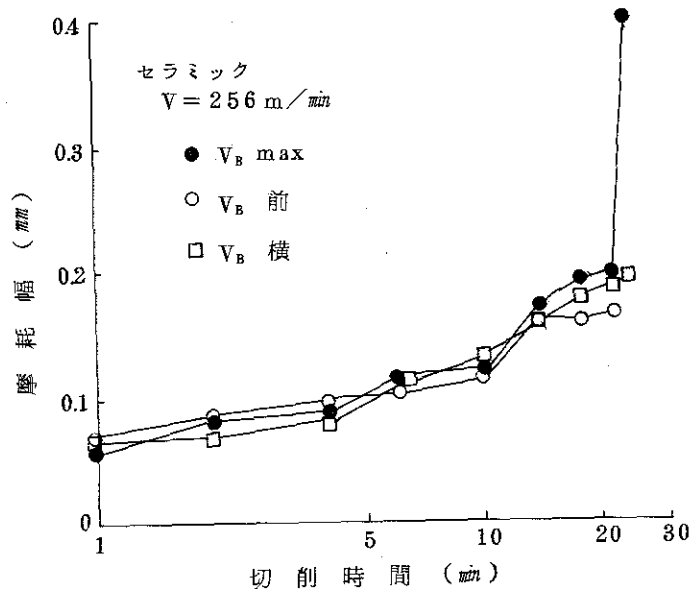


図 9. セラミック工具の摩耗経過(2)

にチッピング、あるいはすくい面の剥離をともなう欠損が発生する。このため仕上げ面も著しく劣化し、切削継続は困難になる。

図 11 は逃げ面中央の平均摩耗の経過である。5 min 切削時からいまでは、 $V = 256 \text{ m/min}$ の方がこれより低速の $V = 200 \text{ m/min}$ の場合より摩耗は小さいが、ほぼ切削速度に依存する摩耗経過である。

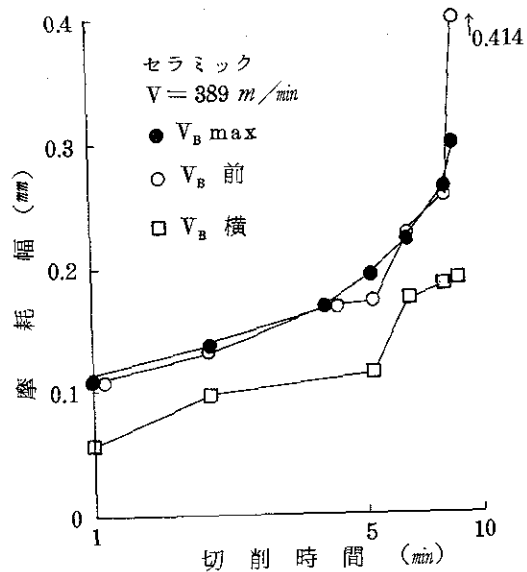


図 10. セラミック工具の摩耗経過(3)

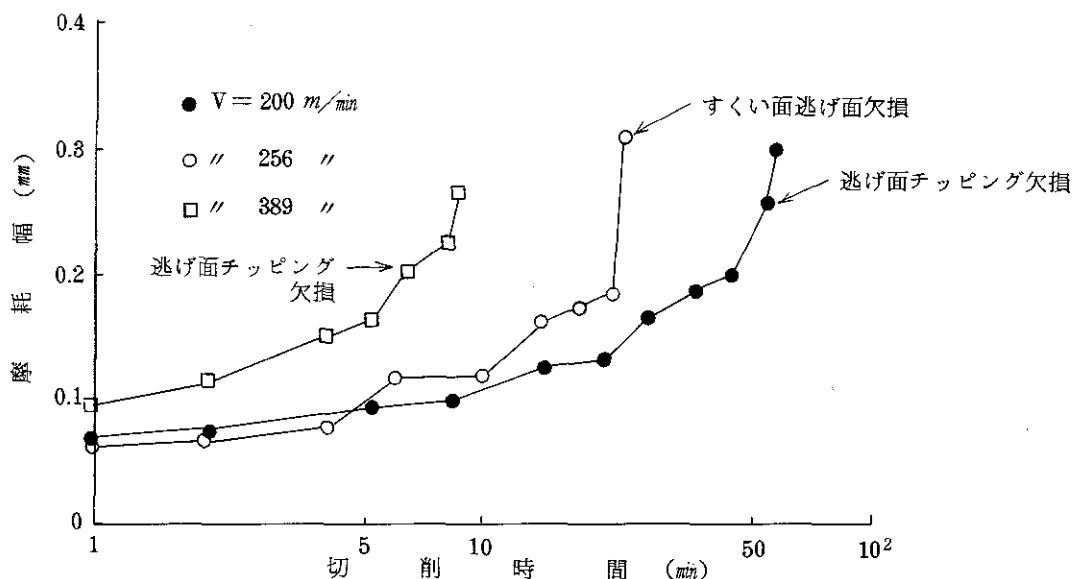


図 11. セラミック工具の逃げ面中央平均摩耗 (V_B)

CBNとセラミック工具の比較

図 7 と図 11 において両工具の摩耗経過を $V_B = 0.2 \text{ mm}$ 付近で比較すると、 $V = 389 \text{ m/min}$ では両工具に差はないが、 $V = 200, 256 \text{ m/min}$ においてはセラミック工具の方が CBN 工具に比べ約 3 倍程長時間の切削が可能となっている。

また CBN 工具の $V_B = 0.3 \text{ mm}$ の場合とセラミック工具の $V_B = 0.2 \text{ mm}$ 付近とを比較すると、 $V = 389 \text{ m/min}$ の場合 CBN 工具はセラミック工具の 2 倍程度の寿命を持つが、 $V = 256 \text{ m/min}$ ではほとんど差はなく、 $V = 200 \text{ m/min}$ ではセラミック工具が長寿命となる。

CBN 工具は $V_B = 0.3 \text{ mm}$ 以後なお切削可能であり、セラミック工具は $V_B = 0.2 \text{ mm}$ 付近で工具損傷を起し、後切削困難となることが特徴的であるが、逃げ面中央摩耗 $V_B = 0.2$ 付近では明らかにセラミック工具が長寿命となっている。また CBN 工具は $V_B = 0.3 \text{ mm}$ 以後も切削可能であるが、この工具の $V_B = 0.3 \text{ mm}$ とセラミック工具が損傷を起す $V_B = 0.2 \text{ mm}$ 付近で両工具を比較する

と、高速域で CBN 工具が長寿命、低速域でセラミック工具が長寿命となっている。

3-3. 工具寿命

図 12 は逃げ面中央の平均摩耗 $V_B = 0.2, 0.3 \text{ mm}$ としたときの寿命曲線である。セラミック工具の場合、 $V_B = 0.2 \text{ mm}$ に達せず欠損を生じたものについては外挿してある。

工具寿命は、3.2 で述べたように $V_B = 0.2 \text{ mm}$ ではセラミック工具がかなり長寿命であり、特に低速側で顕著である。

このとき寿命方程式は、CBN 工具について、 $VT^{0.844} = 1,639$ 、セラミック工具について $VT^{0.345} = 767$ である。また CBN 工具の $V_B = 0.3 \text{ mm}$ については、 $VT^{1.005} = 6,112$ となっている。

前述したように CBN 工具の $V_B = 0.3 \text{ mm}$ の場合とセラミック工具の $V_B = 0.2 \text{ mm}$ を比較すると、切削速度により寿命は逆転するが、その切削速度 V は概略 260 m/min である。この切削速度より高い切削速度では CBN 工具が、低い切削速度で

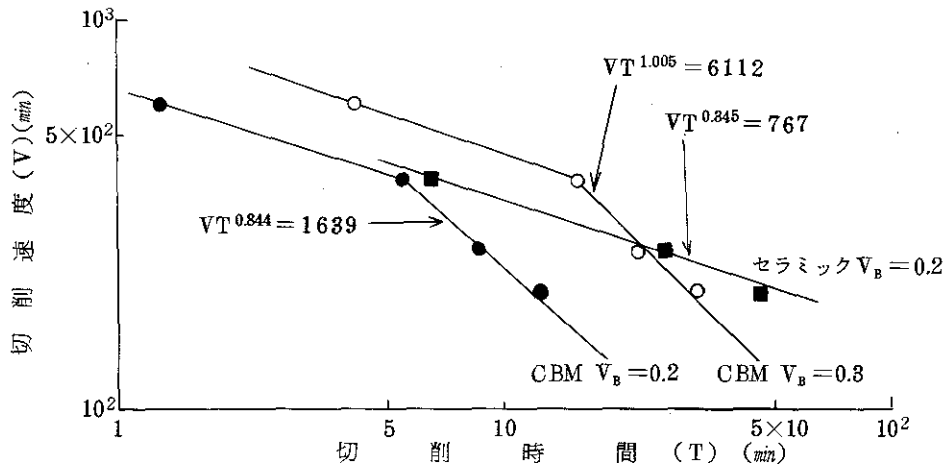


図 12. CBN, セラミック工具の寿命曲線

(SKD 11, HRC 60 ~ 60.5, $t = 0.1 \text{ mm}$)
 $f = 0.03 \sim 0.04 \text{ mm/刃}$

はセラミック工具が長寿命となる。

3-4. 仕上げ面あらさ

仕上げ面は工具面は工具損傷がない場合光沢面を呈する。仕上げ面の表面あらさを、図 13, 14

上げ面は良好で、CBN工具の $V_B = 0.3$ 以下セラミック工具の $V_B = 0.2 \text{ mm}$ 以下で概略 $5 \mu \text{m}$ R_{max} 以下が得られ、特に条件によっては $3 \mu \text{m}$ R_{max} 以下の仕上げ面が維持されている。

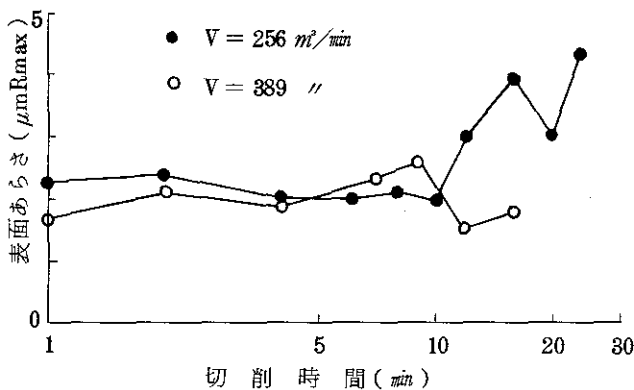


図 13. CBN 工具による仕上げ面あらさ

に示す。セラミック工具のチャッピング、欠損に起因する表面あらさの急激な劣化を除外すると、仕

CBN工具の $V = 200, 605 \text{ m/min}$ の表面あらさが示されていないのは、レプリカの不備によるものであって、実際の仕上面は他の条件と同様な仕上げ面が得られていた。

CBN工具の $V = 256 \text{ m/min}$ では 12 min 以後仕上げ面あらさが劣化しているが、原因不明である。

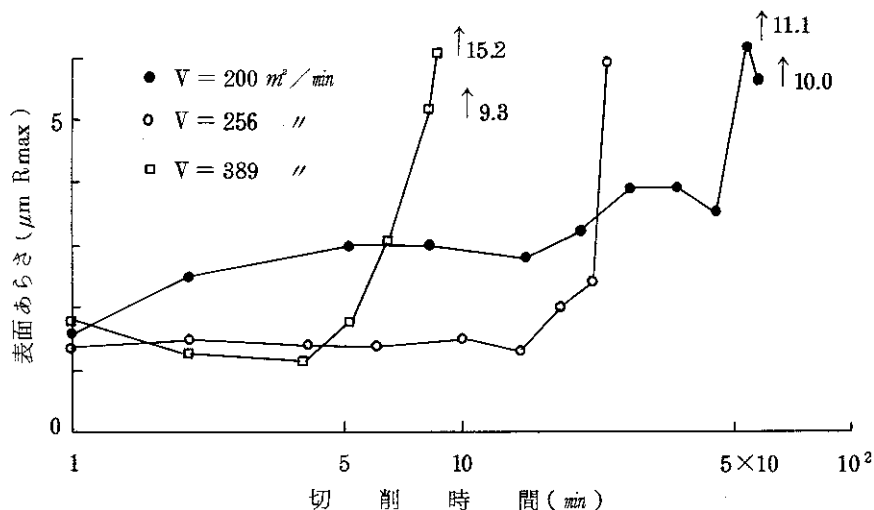


図 14. セラミック工具による仕上げ面あらさ

3-5. 切屑について

切削断面積が小さいため、切屑は小さくちぢれており終始濃藍色を呈した。切屑は工具から排出直後においても十分に冷却されており、切屑処理の問題はない。

4. ま と め

フライス切削により高硬度焼入鋼の仕上げ切削の可能性を検討するため、SKD11焼入材に対するCBN工具とセラミック工具の寿命試験を行った。

本実験の範囲で以下の結果を得た。

- (1) CBN工具および Al_2O_3 + 炭化物系セラミック工具により、HRC60程度の焼入鋼のフライス仕上げ切削できる。
- (2) 逃げ面中央の平均摩耗 V_B を $V_B = 0.2 mm$ とするときの工具寿命は

$$\text{CBN工具} \quad VT^{0.844} = 1,639$$

$$\text{セラミック工具} \quad VT^{0.345} = 767$$

となる。またCBN工具で $V_B = 0.3 mm$ とすると、 $VT^{1.005} = 6,112$ となる。

- (3) 切削速度 $V = 260 m/min$ 以下ではセラミック工具損傷時を基準にするとセラミック工具が有利である。
- (4) CBN工具は損傷しにくい、セラミック工具は欠損により寿命となる。
- (5) 仕上げ面の表面あらさは概略 $5 \mu m R_{max}$ 以下が得られ、条件によっては $3 \mu m R_{max}$ 程度を維持できる。

5. お わ り に

本試験は、工業技術院中国工業試験所の指導のもとに、中国四国九州機械技術担当者会議の共同切削試験として行なった試験のうちの分担分である。

中国工業試験所の大谷敏昭氏他関係者に謝意を表する。