超高速切削の研究

炭素鋼の超高速切削におけるセラミック工具と 超硬工具の切削性能の比較

山田 国男* 中山 登* 梶原 弘 酒井 清介 三井 寿雄*

Study of Ultra High Speed Cutting
—Performances of Carbide and Ceramic Tools in Cutting Carbon Steel—

Kunio YAMADA, Noboru NAKAYAMA, Hiroshi KAJIHARA,
Seisuke SAKAI, and Hisao MII.

The present study is concerned with the comparison of the performances between a carbide tool and a ceramic tool in cutting a carbon steel at ultra high speeds.

Work pieces of a carbon steel, S 45 C in JIS, having a hardness of 90 in H_V were cut three-dimensionally at speeds varying from 600 to 1260 m/min with a fixed feed of 0.1 mm/rev throughout. Both tools have the same geometry, $-5, -7, 5, 7, 15, 15, 0.5$ in their cutting edges.

Various factors such as the maximum width of flank wear, the maximum depth of crater, the surface roughness of work piece, the tool life and so on were taken into consideration in comparing the performances of both tools, and the following conclusions were obtained.

(1) While the carbide tool wore more rapidly with the increment of cutting speed, the apparent behavior of the wear was very near that shown in an ordinary high speed cutting.

(2) The ceramic tool hardly wore, and it withstood particularly well to the cratering of tool. This fact may be attributed to the high temperature hardness of the ceramic tool, a sintered aluminum oxide.

(3) The life of ceramic tool was very much elongated in comparison with that of carbide tool when the cutting speed approached 1000 m/min.

(4) There was no appreciable difference in the surface qualities of works cut with both tools, and the smoothness was fairly good.

1. ま え が き

セラミック工具の一般生産工場における実用化が我国においても漸やく検討の段階に來たようである。筆者等はセラミック工具による超高速切削(切削速度600m/min以上を超高速切削と呼ぶこととした)の可能性についての実験的研究を行ないつつあるが¹⁾, その一環として炭素鋼についての切削試験を行ない, セラミック工具と超硬工具の切削性能の比較を行なつたのでその結果をここに報告することとする。

2. 実験に関する諸条件

2.1 使用機械

* 名古屋工業技術試験所 正会員

当所で試作した超高速旋盤を使用した²⁾。

2.2 被削材

被削材には機械構造用炭素鋼第8種(S 45 C)を使用した。表 1 にその組成を示す。カタサは H_V 90 で、図

表 1 被削材の組成(%)

C	Si	Mn	P	S
0.44	0.27	0.59	0.012	0.014

1 に被削材の寸法を示す。被削材の取り付け方法は主軸フランジ端面へ4本のボルトで直接締め付ける方法とした。

2.3 使用工具

セラミック工具は国産A社のものを, 超硬工具はFT

図1 被削材寸法

1を使用した。ともに $13 \times 13 \times 5$ mm の標準廃棄型で写真1に示される JIS 31-4 型のツールホルダーを用いた。工具形状は -5, -7, 5, 7, 15, 15, 0.5 である。

写真1 使用工具

左下セラミック，右下超硬

工具の研磨はいずれも荒研磨に G.C. トイシ (180#, H) を，仕上研磨にはダイヤモンドトイシ (メタルボンド, 220#) を使用した。刃先半径は100 倍の顕微鏡で拡大しつつダイヤモンドホーン (220#, 600#) により正確に修整を行なった。また切刃縁の面とは特に行なわなかった。

2.4 切削条件

切込1.0mm, 送り速度0.1mm/rev で一定とし，切削速度のみ 600~1,260m/min の範囲で変化した。切削はすべて三次元乾切削とした。

3. 測定方法

一定切削長さごとに工具を取り外して工具顕微鏡により最大二番摩耗の幅を，また 2/1000mm 目盛のダイヤルゲージを併用してクレータ最大深さを測定するほか，切刃部分の顕微鏡写真をとり摩耗状態の観察を行なった。被削材の表面アラサは小坂式仕上面検査機により，切削抵抗は切削三分力測定器³⁾により測定した。なお切りくず厚さの測定にはマイクロメータを使用した。

4. 実験結果とその考察

4.1 最大二番摩耗の幅 V_B

図2は切削速度 1,260, 950, 880, 855, 800, 600m/min における

図2 V_B - T 曲線

るセラミック工具，および 855, 600m/min における超硬工具の最大二番摩耗の幅 V_B と切削時間 T との関係を示す。図において超硬工具の最大二番摩耗の幅は切削速度および切削時間が増すと急激に増加する。セラミック工具においても，切削速度および切削時間が増すと最大二番摩耗の幅が増加することは同様であるが，同程度の切削速度における超硬工具に比べるとその増加は小さくセラミック工具の熱的耐摩耗性の優れていることを示している。またセラミック工具において切削速度が大体 1,000m/min 以上になると二番摩耗が急増する傾向が認められる。しかしながら摩耗の形態を示す写真2に見られるように，切削速度の増加にともなう振動に起因すると考えられるような異状チップング，ないし摩耗の急増は認められない。したがってこの原因としては，切削速度が 1,000m/min 以上の場合の切りくずの変色状況および刃先付近に発生する火花の色等を観察すると，切削速度 1,000m/min 以下の場合と異なり工具の摩擦面の温度は相当高温になっているものと推測され，これにともなう工具カタサの低下は切削温度の上昇に対し一定でなく，高温域で急激な低下を示すこと，また工具切刃における微細な機械的チップングも切削速度の増加とともに増大すること等が考えられる。

摩耗の形態は写真2に見られるようにセラミック，超硬工具ともに大体長方形チップングを示している。超硬工具においては境界二番摩耗が一般の高速切削におけるほど顕著でないが，これは溶着物のため判然としないこと，および本実験の切削条件では切削時間が非常に短い

	V 855 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 14.5 sec	超硬工具 F_{T1}
	V 600 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 80.0 sec	
	V 1,170 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 197.0 sec	セラミック工具
	V 950 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 237.5 sec	
	V 880 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 469.0 sec	
	V 675 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 680.0 sec	

写真 2 工具摩耗状態の例

ため、溶着物を除いた写真 3 では境界二番摩耗が認められる。セラミック工具においては写真 2, 3 に見られるように、超硬工具においては認められなかった不規則なフレーキングと顕著な境界二番摩耗の発達が見られる。しかし切削速度 675m/min の場合はほとんど境界二番摩耗が認められない。これは切削中の火花の色および切りくずの変色からもわかるとおり、工具摩擦面の温度が低いからであると考えられる。摩耗形状および溶着物の一例を図 3 に示す。工具二番面における被削材微粒の溶着は図に見られるようにセラミック工具においては超硬工具よりも少ない。この原因としてはセラミック工具はその工具材質である酸化アルミニウムの化学的安定性が高温においても大きく、このため溶着物は超硬工具のように工具材質と被削材微粒との化学反応によつて生ぜず、溶融した被削材の微粒が工具面上の微細な凹凸(被削材、切りくずとの擦過痕およびセラミック工具を形成する酸化アルミニウム粒子間に存在する微小ではあるが鋭いV字型の溝)に付着して生ずるものと考えられ、その溶着強

	V 855 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 29.5 sec	超硬工具 F_{T1}
	V 600 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 80.0 sec	
	V 1260 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 197.0 sec	セラミック工具
	V 950 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 237.5 sec	
	V 880 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 469.0 sec	
	V 675 m/min t 1.0mm f 0.1mm/rev T 680.0 sec	

写真 3 溶着物を除去した状態

図 3 摩耗形状および溶着物の一例 (単位 mm)
(アミ線部分は溶着物を示す)

度は超硬工具の場合よりも低く、したがって溶着物は容易に被削材に付着して剥離するためと考えられる。

4.2 クレータ最大深さ K_T

図 4 は切削速度 1,260, 950, 880, 675m/min にお

図4 K_T - T 曲線 (符号は図2と同じ)

るセラミック工具および855, 600m/minにおける超硬工具のクレータ最大深さ K_T と切削時間 T との関係を示す。摩耗形状を示す写真2に見られるように、セラミック工具に対してクレータの用語は不適当と考えられるので以下セラミック工具に対しては単にすくい面摩耗と呼ぶこととする。

超硬工具におけるクレータ摩耗の形態は写真2に示されるように、一般の高速切削の場合と同じ両堤防発生クレータである。またクレータ最大深さは切削速度および切削時間が増加すると急激に増大し、工具形状が超硬工具に対して不適当とは考えられるがその進行はセラミック工具に比べ甚だ急激である。このことは超硬工具における溶着物の溶着強度はセラミック工具におけるよりも大きく⁵⁾、また高温における超硬工具のカタサの低下はセラミック工具よりも激しいため溶着物が切りくずに付着して離脱して行く場合、工具材質の一部分を破壊して持ち去るためと考えられる。セラミック工具におけるすくい面摩耗の形態は写真2に示されるように両堤防発生型であり、顕著な溶着物が認められる。すくい面摩耗の最大深さは切削速度および切削時間が増加すると、セラミック工具においても増大する傾向にあるが、その増大は超硬工具に比べるとときわめて僅かである。また切削時間に対して不規則な増減を示し、超硬工具のクレータ最大深さが切削時間にほぼ比例して増大しているのに比べ、著しい差異が認められる。この原因としては次のことが考えられる。すなわちセラミック工具の熱伝導率は超硬工具に比べて低く(セラミック 0.042Cal/cm²・sec⁻¹・°C, 超硬S種0.09Cal/cm²・sec⁻¹・°C), また工具すくい面のアラサは超硬工具よりも大きい(本実験では超硬 H_{max} 0.3 μ , セラミック H_{max} 3.0 μ) ため、すくい面における切りくずとの摩擦面の温度は超硬工具よりも高温になり被削材微粒の溶融は超硬工具におけるよりも激しいと

考えられる。しかしながらセラミック工具における溶着物の発生は4.1で述べたような機構であるため、溶着強度は低い⁶⁾。また高温における工具カタサの低下も少ないためと考えられる。

4.3 切りくず

切りくずの形状の変化は一般の高速切削におけると同様で、連続した流れ型から連続したラセン状となり、摩耗の進行につれて短い破断したものとなつた。図5は

図5 切削比 f/t と切削速度との関係 (t は切りくず厚さ, f は送り速度で二次元切削の切込に相当)

切りくず厚さ t をマイクロメータで測定し、送り速度 f (二次元切削における切込に相当) との比を切削速度 V に対して表わしたものである。本実験は三次元切削であつて二次元切削とは異なるが便宜上 f/t を切削比とすると、切削比は二次元切削におけると同様切削速度の増加とともに増大し、切りくず厚さは減少する傾向を示している。

4.4 仕上面アラサ H_{max}

図6は工具寿命を最大二番摩耗の幅 V_B が0.4mmに

図6 工具寿命を $V_B=0.4$ mmとした場合の工具寿命に達するまでの仕上面アラサと切削速度との関係

達するまでの時間で定義し、工具寿命に達するまでの仕上面アラサの範囲を各切削速度について表わしたもので、セラミック、超硬工具ともに大差は認められない。

4.5 切削抵抗 F

切削抵抗 F は図 7 に示されるように、本実験程度の

図 7 F - T 曲線 (符号は図 2 と同じ)

切削条件ではさほど大きくなくセラミック、超硬工具ともに大差はない。図において切削速度 855m/min における超硬工具の主分力 F_t のみが低い値を示しているのは、工具前切刃部分の摩耗が急激なための実質的切込の減少が主な原因と考えられる。またセラミック工具において切削速度 1,000m/min 以上では切削抵抗は急増し、送り分力および背分力において顕著である。この原因としては 4.1, 4.2 で述べたと同様のことが考えられる。

4.6 工具寿命

図 8 は工具寿命を最大二番摩耗の幅 V_B が 0.4mm お

図 8 工具寿命曲線

よびクレータ最大深さ K_T が 0.05mm に達するまでの時間で定義し、工具寿命と切削速度との関係を示したも

のである。セラミック工具については、本実験ではすくい面摩耗最大深さはいずれも 0.05mm に達しておらず、また図 3 からすくい面摩耗最大深さについての工具寿命を推測することも不可能なため最大二番摩耗に対する工具寿命のみを示している。図に明らかなようにセラミック

工具の工具寿命は超硬工具に比べてはるかに高く、高速域における切削性能の優れていることを示している。またセラミック工具のすくい面摩耗に対する工具寿命は、超硬工具とは逆に二番摩耗に対するよりもはるかに高いと推測されるが、このことは現状におけるセラミック工具は熱的耐摩耗性は優れているが、抗折力が不足で脆いことを示すものと考えられる。

5. むすび

試作の超高速旋盤により被削材に S45C を使用し、工具形状 -5, -7, 5, 7, 15, 15, 0.5, 切削条件; 切込 1.0mm, 送り速度 0.1mm/rev, 切削速度 600~1,260m/min で三次元乾切削を行ないセラミック工具と超硬工具との比較を行なった結果について報告したが、これを総括すると

- (1) 超高速切削におけるセラミック工具の摩耗は超硬工具に比べ小さい。ことにすくい面摩耗においてははるかに小さく熱的耐摩耗性の優れていることを示した。
- (2) 超高速切削におけるセラミック工具の工具寿命は超硬工具に比べはるかに大きく、高速域でとくに顕著である。
- (3) セラミック工具の摩耗は切削速度 1,000m/min 以上で急に増大する。
- (4) 超高速切削による仕上面は良好である。セラミック工具と超硬工具の間に大差は認められない。
- (5) 現状におけるセラミック工具での超高速切削は本実験程度の切削条件で十分実用可能と考えられるが、切削速度は(3)の理由から 1,000m/min 以下とすることが望ましい。(1960, 1月25日 受付)

参考文献

- 1) 山田国男, 中山登, 梶原弘, 酒井清介, 三井寿雄: 名古屋工業技術試験所報告, Vol.8, No.2 (1959), p.74.
- 2) 三井寿雄, 山田国男, 中山登, 梶原弘: 名古屋工業技術試験所報告, Vol.7, No.9 (1958), p.638.
- 3) 山田国男, 中山登, 梶原弘, 船橋鉦一, 三井寿雄: 名古屋工業技術試験所報告, Vol.8, No.1, (1959), p.7.
- 4) 奥島啓次, 藤井義也: 日本機械学会講演前刷集, No.7, (1959), p.61.
- 5) 既出 4) 6) 既出 4)