

セラミック工具の切削試験 I

セラミック工具による焼入鋼の切削

丹 羽 一 仁*

The Machinability of Ceramic Tools I

Cutting of Hardened Alloy Steels with Ceramic Tools

Kazuhito NIWA*

(Received August 23, 1972)

The desirable cutting conditions of the ceramic tools are examined for alloy steels with the hardness of HRC 61.5.

The experimental results herein obtained indicate that the most favourable cutting conditions of the ceramic tools having tool geometry (−8, −8, 8, 8, 45, 45, 1.2) are as follows; the favourable range of the cutting speed is 25~60 m/min, the depth of cut 0.3~0.6mm and the feed 0.05~0.09mm/rev.

1. 緒 言

アルミナ系セラミック工具は高硬度のアルミナ粒子からなる焼結工具であるため、従来の切削工具に比較して靱性および抗折力が低く、衝撃に弱いという欠点を持つが、耐熱性、耐摩耗性、耐食性、耐酸化性および金属との反応に対する安定性において優れているので、高速切削にすぐれた切削特性を有している。

一般にセラミック工具による焼入鋼の切削はかたさ HRC50 の場合、切削速度 100m/min 程度まで可能で、良好な仕上面が得られると言われている。しかし、かたさが HRC60 程度となると切削は困難であるとされ、最適切削条件、最適工具形状等についての報告はあまり見当たらない。

本研究では合金工具鋼D11種 (SKD11) 材を焼入したかたさ HRC61.5 の被削材を 25~130m/min の切削速度範囲でアルミナ系セラミック工具による適正切削条件を求めたので報告する。

2. 実験方法

2-1. 使用機械および使用工具

実験に使用した工作機械は大隈鉄工所製 LK 形実用高

速旋盤 (主軸回転数 60~2400 rpm, ベット上の振り 350mm, 両センチ間の最大距離 800mm, 主電動機 3.7KW)。工具は国産 A 社および B 社の 12.7×12.7×4.8mm の標準廃棄型セラミックチップをホルダーに機械的に

締結して使用した。ホルダーは N11R-33, N12R-33 および N13R-33 を使用した。(写真 1)

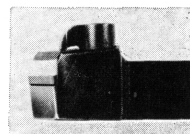


写真 1 ホルダー (N12R-33) およびチップ

2-2. 被削材

被削材は合金工具鋼D11種 (SKD11) の丸棒を用い、この材料の化学組成および焼入かたさを第 1 表に示す。

第 1 表 被削材の化学組成 (%) および焼入かたさ

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
1.47	0.23	0.37	0.020	0.013	11.53	0.15	0.89	0.27	0.12
焼 入 か た さ H R C = 6 1 . 5									

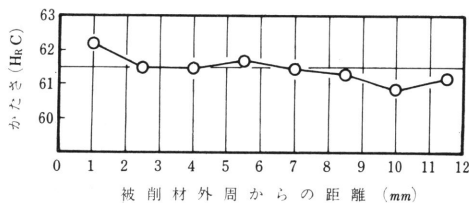
焼入かたさの半径方向の変化は第 1 図に示したごとく少く、平均値を採用して HRC61.5 とした。

熱処理は電気炉により行い、焼入条件は 1030°C 50 分保持後空冷し、焼戻しは 180°C 2 時間保持後空冷した。

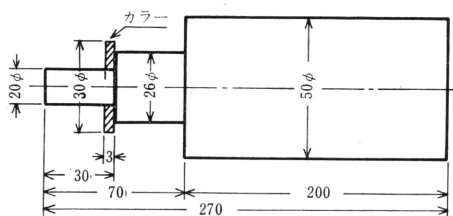
被削材の形状は第 2 図に示す通りで、熱処理後直径

* 機械・生産機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

20mmの部分および焼入したカラーの両面は研削仕上げした。また直径50mmの部分は更に黒皮を削って直径48mmまで切削した後、切削実験に使用した。切削は全て片センター作業にて行った。また一定長さ切削実験は60mm間隔に目印の溝を入れてこの間を切削した。



第1図 焼入かたさの半径方向の変化



第2図 被削材形状

2-3. 切削速度

本実験で使用した旋盤の速度変換は歯車切換階段変速方式で、切削寿命試験においては外周から切削してだんだんと切込まれ、被削材の直径が変化して切削速度が各回ごとに正確に一定に保てない場合もあるが、その切削速度誤差を±1 m/minにおさえるようにした。

2-4. 切削回数による寿命の変動

セラミック工具における切削始めの衝撃が逃面のチップングに大きな影響を与えるため、一定時間(10分)内における切込回数のみを変化させたときの逃げ面摩耗の変化は切込回数が増加すると平行部摩耗に比べ刃先部摩耗が著しく増大する傾向を示すので、¹⁾ 本実験ではその回数を摩耗の変動が少ない3~6回の範囲で行った。

2-5. 切削条件

切削はすべて三次元乾式切削で、切削条件は次の通りである。

切削速度: 25~130 (m/min)

切込: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8(mm)

送り: 0.05, 0.09, 0.12, 0.15(mm/rev)

工具形状は寿命試験においては、(-8, -8, 8, 8, 45, 45, 1.2)を用い、一定長さ切削にはこれらの他に(-5, -5, 5, 5, 30, 30, 1.2)および(-5, -5, 5, 5, 15, 15, 1.2)の2種類を用いた。

比較のため、超硬工具でも切削し、切削速度はセラミ

ック工具の場合より低い速度で行い、工具形状はセラミック工具の寿命試験の場合と同様である。

これらのセラミックおよび超硬工具はいずれも再研磨を行わず、一実験ごとに新しいものと取り換えて実験を行った。

3. 測定方法

セラミック工具による焼入鋼の切削性能は寿命曲線と一定長さを切削したときの切削性能の結果より適正切削条件が決定される。したがって、実験では切削時間を増していったときの切削抵抗、切削動力、仕上面あらさおよび工具摩耗を測定し、また一定長さ切削時にはこれらの他に切屑形状等について調べた。

チップの摩耗は予備実験の結果、逃げ面のノーズ部および境界部に異常チップングを伴う長方形摩耗が認められたので、寿命判定は逃げ面摩耗のみで判定することとし、その量は0.4mmをもって限界とした。

4. 実験結果および考察

4-1. 寿命試験

それぞれの切削条件における寿命曲線を求めるため、送り0.05~0.15mm/rev、切込0.1~0.8mmおよび切削速度を変化させて切削した結果、切込が小なるとき(0.1程度まで)は切削速度を変化させても、外周をこするだけで、切込んだ寸法だけ切削出来ない結果を示した。このときの逃げ面摩耗は刃先部の三角形摩耗が著しく、仕上面は不規則になり、この条件では切削不可能と考えられる。写真2に切込0.1mmで切削したときのA社チップの摩耗形態を示す。

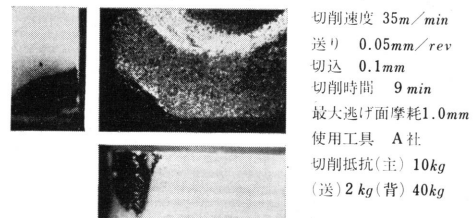


写真2 工具摩耗形態

切込が一定で送りが大きくなると切削し始めてから数分でチップのクレータ部が欠損し、逃げ面摩耗も大きくなっている。送りが0.12, 0.15mm/revになると著しくなる傾向を示した。写真3は送り0.15mm/rev、切込0.8mmのときの国産A社およびB社の工具摩耗を示し、A社、B社ともこの条件では摩耗形状およびその量に大きな差異は認められない。

最大逃げ面摩耗が0.4mmまでの時間が比較的長い条件は切込0.3~0.6mm、送り0.05~0.07mm/rev程度で良い結果を示した。

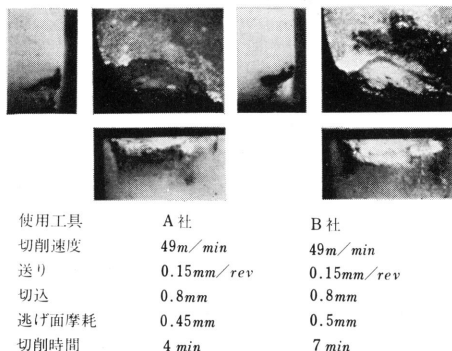
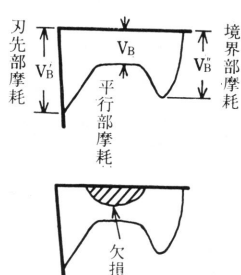


写真3 工具摩耗形態

4-2. 最大逃げ面摩耗および寿命曲線

逃げ面摩耗形態は刃先部摩耗と平行部摩耗および境界部摩耗の3つに大別できるが、本実験の場合は前述のように逃げ面に異常チップングを伴う長方形摩耗が認められ、さらに摩耗が進行して平行部に欠損が生ずるという結果を示したが、



第3図 逃げ面摩耗形態

工具寿命に直接原因があると考えられるのは刃先部の三角形摩耗 (VB') および境界部摩耗 (VB'') と推定できるので、本実験では VB' および VB'' について摩耗形態を調べた。なお平行部摩耗の部分で欠損を生ずる原因として、 VB' および VB'' の増大による影響が欠損を誘因するものと考えられる。

寿命曲線については一般に切削速度と最大逃げ面摩耗幅に相当する工具寿命との関係はテラーの寿命方程式で表わされる。次に方程式を示す。

$$VT^n = C$$

ここで、 V : 切削速度 (m/min)

T : 工具寿命 (min)

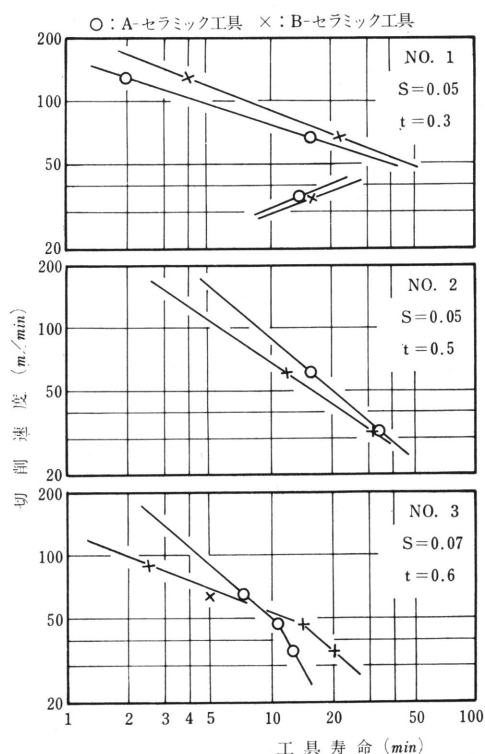
n, c : 定数

第2表 寿命方程式 ($VB=0.4mm$) 条件は第4図と同じ。

NO.	セラミックチップ	寿 命 方 程 式
1	A	$V T^{0.384} = 160$
	B	$V T^{0.415} = 215$
2	A	$V T^{0.845} = 600$
	B	$V T^{0.666} = 320$
3	A	$V T^{0.840} = 340$
	B	$V T^{0.286} = 130$

第4図に寿命試験より求めた代表的な寿命曲線を示す。第4図のNo.1についてはB社の工具がA社の工具より寿命が長いことがわかる。低速域での寿命曲線の折れ曲りについては圧着物脱落による切刃の欠損のためと思われる。²⁾ No.2についてはA社の工具の方が多少寿命が長い。No.3については高速域においてはA社の工具の方が寿命が長いようであり、低速域における曲線の折れ曲りはNo.1と同様の理由と思われる。

第4図の寿命曲線の寿命方程式を第2表に示す。

第4図 寿命曲線 ($VB=0.4mm$)

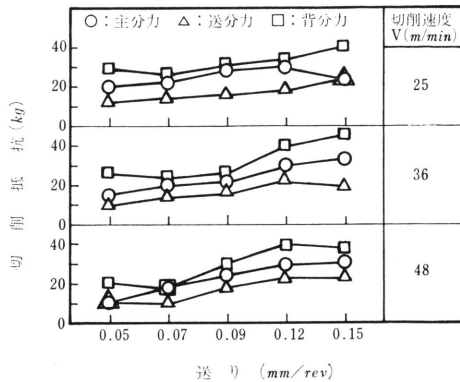
(-8, -8, 8, 8, 45, 45, 1.2)

4-3. 一定長さ切削について

前述の寿命試験は切込0.3~0.6mm程度で良い結果を示したので、これを参考にして、ここでは切込0.5mm、送り0.05~0.15mm/revおよび切削速度25, 36, 48m/minで一定長さ(60mm)を切削した結果について述べる。

1) 切削抵抗

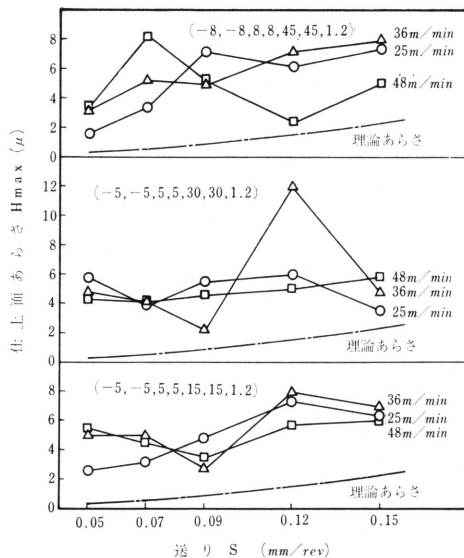
切削抵抗と送りとの関係については送りが増大するにつれて切削抵抗が増大しており、切削抵抗は切込の変化より送りの変化に影響される。切削抵抗と切削速度との関係については切削速度の増加につれて切削抵抗が減少している。第5図に切削抵抗と送りとの関係を示す。



第5図 切削抵抗と送り (切込0.5mm)
(-8, -8, 8, 8, 45, 45, 1.2)

2) 仕上面あらさ

仕上面あらさはいずれの工具形状においても、理論あらさ ($H_{max}=S^2/8R$) より相当大きな値を示したが、全体的に外観はきわめて均一的な美しい仕上面が観察された。一般的に切削速度の増大により仕上面あらさは減少する傾向にあるが、本実験においては不均一な結果を示した。第6図は工具取付角の変化に対する理論あらさと実際のあらさについて示す。図から明らかなように、あらさは送りの増加につれて大きくなっているが、ばらつきも見られる。工具の取付角の変化については75°の場合が最も安定しているようであるが、切削速度に対してはばらつきが大きく一定していない。



第6図 仕上面あらさ (理論あらさとの比較)
切込0.5mm

3) 切屑

切屑は全体として短かく流出するが、赤熱状態から急激に空冷されるために一般にみられる流れ形切屑とは異なり、ひだ状のわん曲した特殊な形状を示し、手で押しつぶすと細かく、粉々に砕かれるのが観察された。またこれは切削速度のいかにかわからず、送りが大きくなると連続した切屑が現われ、特に0.12~0.15mm/revになると顕著である。

切削時の切屑温度については刃先部に切屑が暗赤色または暗桃色になっているので、約700℃~750℃程度と思われる。これより切削時の刃先の温度は一般に約1.5倍高いとされていることより、⁸⁾ 約1100℃前後と推定される。

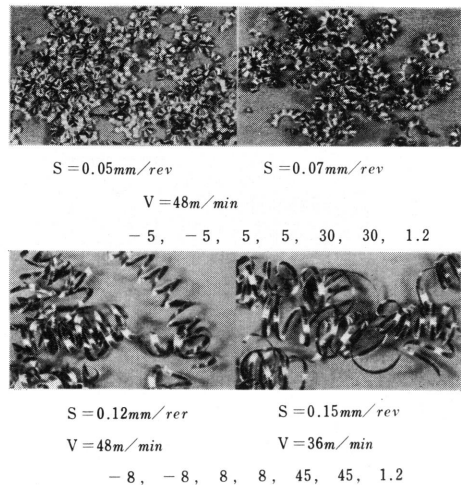


写真4 切屑 (切込0.5mm)

4-4. 超硬工具との比較

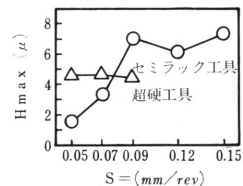
超硬工具はP10に準ずる国産B社のものを用いた。切削長さは60mmである。

1) 切削抵抗

切削抵抗は超硬の方がセラミックより大きく、特に背分力が大きい結果となった。切削速度の変化による切削抵抗は25, 18, 13m/minと切削速度の減少と共に小さくなっている。切削速度の増加とともに刃先の摩耗が激しく、それによる切削抵抗が増大するものと考えられる。

2) 仕上面あらさ

第7図に示すごとく、超硬工具の場合の仕上面あらさは送りに関係なく、ほぼ一定しているが、セ



第7図 仕上面あらさ、切削速度25m/min、切込0.5mm
(-8, -8, 8, 6, 45, 45, 1.2)

ラミック工具においては送りの増加とともに大きくなる。写真5にセラミック工具による仕上面、写真6に超硬工具による仕上面の顕微鏡写真を示す。写真からもわかるように、セラミック工具による仕上面は送りマークがはっきりと規則正しく現われているが、超硬工具による仕上面は送りマークもみだれてはっきりせず、むしろたような状態を示している。

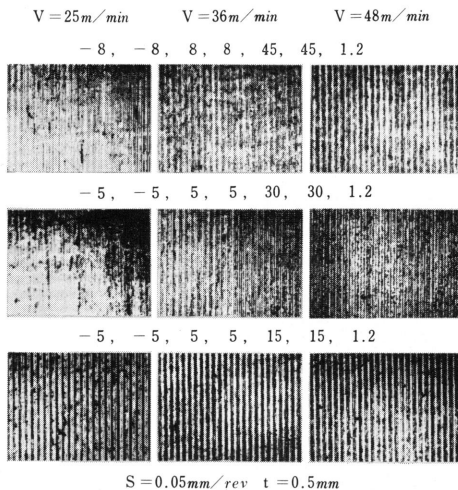


写真5 セラミック工具による仕上面

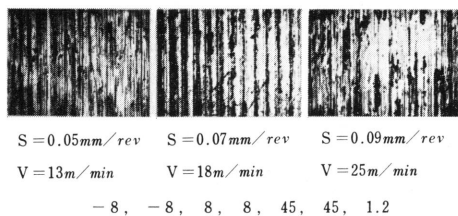


写真6 超硬工具による仕上面

3) 逃げ面摩耗

超硬工具の場合の切削速度 25, 18m/min については途中でチップに欠損を生じて、逃げ面摩耗が急激に上昇して切削長さ60mmですでに0.6~0.9mm 程度になる。この傾向は送りが増すにつれて著しく、比較的大きな送り 0.12, 0.15mm/rev は使用に耐えない。写真7にセラミック工具による摩耗形態を、写真8に切削速度 13m/min における超硬工具の摩耗形態を示す。

4) 切屑

セラミック工具による切屑の形状は送りの変化につれて、ひだ状のわん曲した切屑より流れ形に変化するが、超硬工具の場合はいずれの条件でも流れ形の切屑を流出した。

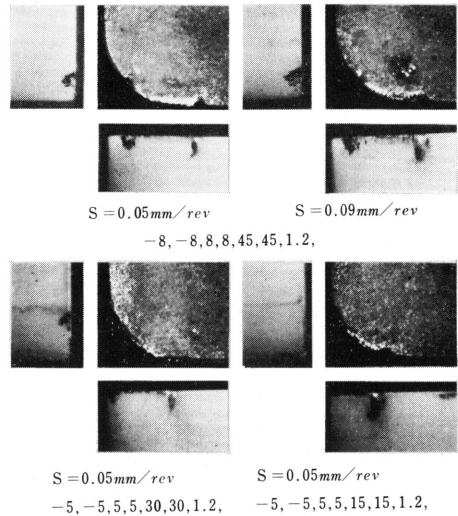


写真7 セラミック工具の摩耗形態
切削速度 25m/min, 切込 0.5mm

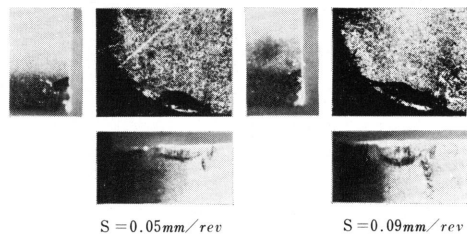


写真8 超硬工具の摩耗形態
切削速度 13m/min, 切込 0.5mm
(-8, -8, 8, 8, 45, 45, 1.2)

5. ま と め

以上の実験結果を要約すれば、次のようになる。

適正切削条件は経済性および能率などを考え、セラミック工具におけるかたさ $\text{HRC}=61.5$ の焼入鋼の切削は切削速度25~60m/min, 切込0.3~0.6mm, 送り0.05~0.09mm/rev の範囲である。工具形状は(-8, -8, 8, 8, 45, 45, 1.2) が適している。

旋削のみの仕上面あらさは $H_{\max}5\mu$ が得られた。

A, B両社のチップの切削性能を比較すれば、寿命はほとんど差異はなく、単価などを考えても同程度の経済性を有するセラック工具である。

一般に焼入鋼材による機械部品は研削仕上を施す場合が多いが、研削代は出来るだけ少ない方が能率のおよび経済的であることは言うまでもない。このように高硬度の焼入鋼材を旋削により精度よく加工出来るということは現場作業において好都合である。

本研究の結果を発表するにあたり、昭和45年度本学特

別研究費によって実験の一部が進められたことを記し、深く感謝の意を表する。また直接ご指導と助言を頂いた本学山本時男助教授に併せて深く感謝の意を表する。また工具の提供をいただいた日本特殊陶業の方々、実験に協力された本学卒業生小島伸計、佐藤敬二、山口幸雄の

諸君に対して、厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 奥島，藤井，機械学会誌，29-199，(昭38-3)，474.
- 2) 奥島，藤井，機械学会誌，29-199，(昭38-3)，472.
- 3) 菊地，柳沢，切削の理論と実際，共立出版，(昭40-12)，44.