ΔZ_i のそれぞれの測定値を示し、あわせてこれらの値より計算された曲率半径誤差 $\Delta \rho_i$ およびねじり率半径誤差 $\Delta \sigma_i$ の値を示す。また、第4図および第5図は以上の ΔY_i および ΔZ_i の値をそれぞれ図示したものであり、これらの値を用いて(20)式により各部分ごとに計算した ΔQ_i および ΔR_i の値をそれぞれ第6図および第7図に示す。図より明らかなように、 ΔQ_i および ΔR_i の値にはともにかなりの誤差がみうけられるが、これには第1表による誤差以外にピアノ線自身の直径の不均一さによる影響が考えられ、試料として用いられたピアノ線の直径誤差が $\pm 5\mu$ 程度なることより当然であることが知られる。また第1表よりも明らかなように、 ΔR_i の値は ΔQ_i の値よりも誤差が大きい。

5. 結 言

以上により、次の結論をうる。

1. 本測定法においては、主法線方向に対する測定誤差は小さいが、従法線方向に対する測定誤差は連鎖回数の増加に伴って非常に大きくなる欠点がある。

2. 測定誤差の見積りに対しては、測定される針金自身の直径の不均一さを考慮に入れなければならない。

終りにのぞみ、本研究に関し御懇切なる御指導と御鞭撻とをいただいた東京工業大学教授 谷口 修博士に対し、衷心より感謝の意を表する。また、実験、数値計算その他に関し、熱心に協力された松井喜美代嬢に厚く御礼申上げる。

621.941.027.4-492.8:621.762.1

鋼切削におけるセラミックバイトの切削性能*

奥 島 啓 式**, 藤 井 義 也***

On Ceramic Cutting Tools

(In the Case of Machining Plain Carbon Steel)

by Keiji OKUSHIMA and Yoshiya FUJII

This paper describes the experimental results about the relation between the physical properties and the life of ceramic tools, the cutting performance of trial products in comparison with a carbide tool of a steel cutting grade, and optimum tool geometry and cutting condition of ceramic tool, at machining 0.4% carbon steel.

The results are as follows: (1) The cutting performance of ceramics is affected by the physical properties of ceramics. (2) The type of failure of ceramic tool is essentially the same as that of carbide tool. (3) It is necessary to choose properly tool geometry and cutting condition of ceramic tool for the increase of tool life.

1. 緒 言

この研究は第1表に示すような成分・性質をもつ普通炭素鋼の切削を行って、セラミック工具の物理的性質と切削性能との関係を求め、ついでその損傷形態を考察し、最後に切削条件および工具形状が工具寿命に及ぼす影響を求めたものである。

2. セラミックの物理的性質

超硬工具やその他の工具材料と同様に、セラミック工具においてもその物理的諸性質が切削性能に影響を

もつと考えられるので、これら諸性質と工具寿命との関係を考察した。

セラミック工具の物理的性質の測定結果の一例を第2表に示す。比較のため超硬 S1 の物理的性質も併記した。

本実験では以下に示す切削条件および装置により切削試験を行い、その工具寿命と抗折力・比重・かたさおよび組織との関係を求めた。

使用旋盤 三菱エリコン高速旋盤 DMOa 型
(振り 460 mm)

削り速度 200 m/mn

切 込 み 0.5 mm

* 昭和 33 年 4 月 2 日 第 35 期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和 33 年 5 月 29 日。

** 正員、京都大学工学部(京都市左京区吉田本町)。

*** 准員、京都大学工学部。

第 1 表

化学的成分 %							かたさ HRB	引張強さ kg/mm ²	伸び %
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr			
0.44	0.33	0.65	0.017	0.024	0.17	0.10	89	64	25

第 2 表

工具材料 性 質	K 103	K 201	Sx	超 硬 Si
かたさ HRA	89.8	89.6~90.1	88.6	91~92
抗折力 kg/mm ²	18	20	30	125
比 重	3.77	3.75	3.70	11.1
熱膨脹率 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	30~1000 $^{\circ}\text{C}$ 7.3	" 8.3	0~300 $^{\circ}\text{C}$ 6.2	6.0
熱伝導率 kcal/mh $^{\circ}\text{C}$	4.0	4.0	19.4	32.7

第 3 表

	K 101	K 102	K 103	K 201
結晶粒子の大きさ μ	6~10	6~10	1~5	3~8
削り速度 150m/mnに おける工具寿命 ($V_B'=0.4\text{mm}$)	30 秒	30 秒	55 分	4 分
研摩刃縁のあらさ μ	10	—	4	8

第 1 図

第 2 図

送り 0.28 mm/rev

被削材 0.4% 炭素鋼

工具形状 0, 0, 5, 5, 15, 15, 0.2⁽¹⁾工具寿命 逃げ面先端摩耗 $V_B'=0.6\text{mm}$

(1) 抗折力 抗折力は幅 10 mm, 厚さ 5 mm, スパン 40 mm の試験片により測定した。種々の成分のセラミックバイトについて実験を行い, その寿命時間と抗折力との関係をプロットしたものを第 1 図に示す。この図から明らかなように実験の範囲では, 抗折力が大となればほとんど直線的に寿命が増加することがわかる。

(2) 比重 同様に比重と工具寿命との関係をプロットすると第 2 図に示すような結果が得られた。これより工具用セラミックに対しては気孔が少く, ち密な焼結材でなるべく比重の大きいことが望まれる。

(3) かたさ セラミック工具のかたさ測定のために種々の方法を試みたが, ロックウェル A かたさが適当であることがわかった。しかしロックウェル A かたさでもなおセラミックのぜい性のため, 圧こん周辺に欠けを生じかたさ測定値はばらつきが少くない。たとえば K123 (抗折力 18 kg/mm²) は 5 回の試行で, 83.5, 89.5, 83.1, 86.3, 82.9, K128 (抗折力 24 kg/mm²) は 87.6, 86.5, 85.7, 86.8, 86.9 である。

かたさと工具寿命との関係は, 第 3 図に示すようになり前二者ほど寿命に及ぼす影響は明らかでない。

(4) 組織 セラミックの組織は第 4 図に示すように結晶相と非晶質のガラス相とからなる。第 3 表はセラミック K101, K102, K103, K201 の結晶粒子の大きさを電子顕微鏡写真により求め, 結晶粒子の大きさと工具寿命および研摩刃縁のあらさとの関係を示すものである。これよりセラミック工具の切削性能に

第 3 図

(1) 工具形状は, 前すくい角・横すくい角・前逃げ角・横逃げ角・前切刃角・横切刃角・刃先半径の順に示す。

対しては、なるべく結晶粒子の細かいことが望ましいことがわかる。

この実験ではバイトは超硬工具研削盤を使用して、ダイヤモンドといし (220#-K-M) による湿式研削 (軽油) を行った。これにより得られた刃縁のあらさを小坂式触針式あらさ検査機により、触針の代りにかみそり刃を使用して検査した。その結果を第 3 表下段に示した。超硬バイト S1 (刃縁のあらさ: 0.5μ) に比較して、セラミックはいずれもかなり凹凸が激しく、もろいことをよく表わしているが、セラミックでも結晶粒子の細かいもののほど凹凸が少くなっている。

第 4 図 $\times 3000$

第 5 図 $\times 15$

第 6 図

3. 損 傷 形 態

切削によってセラミックバイトに現われる損傷の形態は、超硬バイトにおける損傷形態⁽²⁾と本質的に異なるところはない。

ただセラミックバイトはもろいため、第 5 図のようにうろこ状に大きくかける突発欠損をおこしやすい。このような突発欠損は主として性能の悪いセラミックバイトに見られ、好ましくない損傷であるからできるだけ避けるべきことは当然で、これにはじん性の改善とともに工具形状を適当にすることが大切である。

損傷過程の一例として、前述の切削条件によりセラミック K103 を用いて切削したときの模様を第 6, 7 図に示す。第 7 図には比較のため超硬 S1 によるものも併記してある。このような損傷観察の結果次のことがわかる。

(1) 実験に供したセラミックバイトの逃げ面先端摩耗幅は超硬バイトのそれに比較して一般にかなり大きい。

(2) セラミックバイトの摩耗量の変化は不規則で階段的であり、チッピング摩耗の激しいことを示している。

(3) 第 7 図から明らかなように、セラミックバイトにおいては逃げ面摩耗帯の幅 V_B の変化は超硬バイトの場合と大差なく、また境界二番摩耗の深さ V_B'' も超硬バイトのそれに比較して少いが、逃げ面先端摩耗 V_B' のみは超硬バイトに比較してかなり大きい。

第 7 図

(2) 超硬バイトの損傷については次の文献を参照。

奥島, 長宮, 大草, 機械学会論文集, 21, 110 (昭 30), 738.

削り速度	100 $\frac{m}{mn}$		送 り	0.28 $\frac{mm}{rev}$	
切 込	0.5 mm		工具形状	0-0-5-5-15-15-0.2	
セラミック K103			超 硬 SI		
切削時間	逃 げ 面	す くい 面	切削時間	逃 げ 面	す くい 面
30 秒			1 分		
5 分			5 分		
20 分			25 分		
55 分			65 分		
83 分			85 分		
 逃げ面摩耗 境界二番摩耗		 切りくずの 擦過による 傷こん	 逃げ面摩耗 境界二番摩耗		 クレータ摩耗

第 8 図

×15

(4) 本実験の切削条件では、いわゆる溶着によるクレータ摩耗はほとんど生じない。これは第8図から明らかで、同一切削条件、同一切削時間において超硬バイトでは明らかなクレータ摩耗が生じているのに反し、セラミックバイトにおいては切りくずの擦過による傷あとが残ることはあっても寿命に影響するようなくぼみは全く生じない。また工具材料の一部が切りくずとともに持たれることは全然ないが、被削材の一部が工具に融着して残ることは切削条件によっては起る。

(5) セラミックバイトの寿命の終期においては、例外なくノーズ部の斜めのかげが起っている。しかしこの損傷が起っても必ずしも切削不能とはならず、切

削面もかなり美しいことがしばしばある。

以上の結果をまとめてみると、セラミックバイトの損傷過程は性能の悪いセラミックでは切削直後に突発欠損が現われて切削が継続しえないが、大半は次のような経過をとる。すなわちまず切削の頭初に第9図(a)のような横逃げ面長方形型チップングならびに異常チップング(いわゆる境界二番摩耗)が現われ、これにノーズ部の異常チップングが加わっている。この状態で切削を続けるとノーズ部のチップングは次第に増加し、遂には第9図(b)のごとき流れ型チップングを示すようになる。

超硬バイトの場合ノーズ部流れ型チップングは好ましくない損傷で、多くの場合これが現われると寿命の終期に達することが多いが、性能の良いセラミックにおいてはこの型の損傷が現われても切削に支障をきたさない場合が多い。ノーズ部に終期欠損ともみられるような損傷が起っても、切削が継続しうることはセラミックバイトの特徴の一つである。

4. 切削条件が工具寿命に及ぼす影響

(1) 削り速度 超硬バイトおよびセラミックバイトによる V-T 線図を第10図に示す。図より明ら

第 9 図

かなように、セラミックバイトによっても $V-T$ 線図は両対数方眼紙で直線がえられる。

(2) 送り 寿命に及ぼす送りの影響は第 11 図より明らから、送り 0.1 mm/rev において寿命は最良である。

(3) 切込み 切込みの影響は第 12 図に示されるが、これから明らかなように切込みの大きさは工具寿命にあまり影響を与えない。

5. 工具形状が寿命に及ぼす影響

第 10 図

第 11 図

第 12 図

工具形状の寿命に及ぼす影響は外国製セラミック Sx を使用し、基準形状を $(0, 0, 5, 5, 15, 15, 0.2)$ とし、そのうちの二因子のみを種々に変えて実験的に工具寿命に及ぼす影響を求めた。実験結果は第 13 図に示すようになり各成分因子の影響は次のごとくである。

(1) 前すくい角 前すくい角は明らかに負角を採用すべきで、 $-5^\circ \sim -10^\circ$ にとるのが良い。

(2) 横すくい角 本実験のように比較的切削条件がきびしくない場合には正すくい角が有利で、切削条件がきびしくなるにつれて、刃先強度の点からすくい角を小さくしてゆかなくてはならないことは損傷状況からも明らかである。

この場合、負すくい角では切削抵抗が増大し所要動力が大となるので、負すくい角の代りに二段すくい角を使用すると刃先強度も保たれ、切削抵抗の増加も負すくい角の場合よりも少なくてすむ。二段横すくい角は第 14 図に示すように横切刃の部分の研摩して負角をもち、切刃に平行に一定の幅のランドをつけたものである。

本実験ではランドの幅 f を送り ($s = 0.28 \text{ mm/rev}$) の $1/2, 1, 2, 3$ 倍にとり、一次すくい角 γ_1 を 0° ,

第 13 図

第 14 図

-5° , -10° , 二次すくい角 γ_2 を 0° , 5° , 10° にとり, これらを組合わせて合計 32 種のバイトについて実験した。

この結果は第 14 図に示されるように, いずれの角度の場合でもランドをつけることによって, 著しく寿命が改善され, ランドの幅を送りの大きさの 1~2 倍にとるのが良い。ランドの幅は狭すぎても, 広すぎても効果がない。すなわち送りの 1/2 倍の幅のときはランドのない場合と大差なく, 反対に送りの 3 倍の幅にとると初めから一次すくい角のみの角度にとったときの寿命に近づいてゆく。

このようにランドをつけることは, 強制的に工具-切りくず接触面積を小さくして, 適当な値にすることによるものと考えられ, 負すくい角の場合に比較して切削抵抗の低いのも主としてこのためであると考えられる。

最良の工具寿命は $\gamma_1 = 0^\circ$, $\gamma_2 = 5^\circ$, ランドの幅は送りに等しい場合に得られた。この場合横すくい角 5° のバイトによるときの工具寿命の約 2 倍の寿命が得られた。

(3) 逃げ角 本実験では前逃げ角と横逃げ角を同じ角度に変えて, 工具寿命への影響を求めた。これより逃げ角は $+5^\circ$ が良いことがわかる。

(4) 前切刃角 前切刃角の大きさは図より明らかのように, $+5^\circ$ にとると幾分寿命が改善されるが, 前切刃角は工具寿命にあまり影響を与えない。

(5) 横切刃角 工具寿命は横切刃角の増加とともに増加する傾向がある。しかしあまり大きくとるとびびりやすくなり, また切削能率を下げるので普通切削では 45° 以上にとることは良くない。

(6) 刃先半径 刃先半径の大きさは工具寿命に大きな影響を与える。刃先半径 1 mm までは刃先半径の増加とともに寿命はほぼ直線的に増加しているが, 刃先半径 1.2 mm において寿命が低下しているのは切削の途中からびびりが発生したためである。更に大きな刃先半径, たとえば 1.5 mm にとると切込みと同時にびびりが発生して切削は継続できなかった。

しかし刃先半径が大きいと, 比較的望ましい長方形型チップングが現われやすく, 刃先が強く仕上面あらさも改善できるので, びびらない限り大きな刃先半径を使用すべきである。

6. 結 言

以上の実験結果から次のような結論がえられた。

(1) セラミックバイトの切削性能は, その物理的性質, 比重・抗折力・組織などと密接な関係がある。すなわち比重は大きいほど良く, ち密で気孔の少ない材料が良い。抗折力も大きいほどよくじん性の改善が望まれる。また結晶粒子が微細なほど切削性能がよく, 研摩刃縁のあらさもよくなっている。

(2) セラミックバイトに現われる損傷の形態は本質的に超硬バイトのそれと変りはなく, セラミックバイトの損傷経過は一般にノーズ部の異常チップングが現われた横逃げ面長方形型チップングを示し, 最後にノーズ部流れ型チップングが現われる。しかしこれで寿命の終期になるとは限らず, まだ切削が継続できることが多い。また本実験の範囲ではすくい面への部分的溶着はあるにしてもクレータ摩耗は発生していない。

(3) セラミックバイトは超硬バイトより高い削り速度で切削が行える。切込み, 送りのうち工具寿命に著しい影響を与えるのは送りの大きさで, 本実験では 0.1 mm/rev において最良の結果が得られた。

(4) 工具形状はセラミックバイトの工具寿命に著しい影響を与えるが, 特に横すくい角・横切刃角・刃先半径が重要な因子である。横すくい角は軽切削では $+10^\circ$ が良く, 切削条件がきびしいときには, 送りの 1~2 倍の幅の負角ランドをもつ二段すくい角を使用するのが推奨される。

横切刃角・刃先半径はともに大きいほど良く, 本実験の範囲では横切刃角 $15^\circ \sim 45^\circ$, 刃先半径は 1.0 mm にとるのが良い。