研 究

セラミックス成形体の被削性に関する研究 (第2報)
—工具形状と仕上げ面粗さ—千徳 英一^{☆1}, 田中 大^{☆2}, 河端 裕^{☆3}

☆1 金沢工業高等専門学校機械工学科, 〒921 金沢市久安2-270. ☆2 金沢工業大学大学院, 〒921 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1. ☆3 金沢工業大学機械工学科, 〒921 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1.

On the Machinability for Alumina-Green Compact Pieses (Part 2nd)
—Tool Shape and Roughness of Finished Surface—Eiichi Sentoku^{☆1}, Hiroshi Tanaka^{☆2} and Hiroshi Kawabata^{☆2}

☆1 Mechanical Engineering, Kanazawa Technical College, 2-270 Hisayasu, Kanazawa 921. ☆2 Mechanical Engineering, Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ohgigaoka Nonoichi-machi, Ishikawa 921.

Received September 6, 1996

SYNOPSIS

In recent years, ceramics for a few mechanical and electronic parts are performed on the cutting process of the green-compact. The residual crack on the finished surface is influenced the strength of the ceramics after the sintering. The purpose of this paper is to clarify the cutting performance of the ceramics green compact that used the alumina of the grain size $0.2 \mu\text{m}$. The machining performance of alumina green-compact is discussed from view point of the relation between the shape of tool edge and the surface roughness on the work-piece. In the cutting test by turning, the cutting condition is cutting speed 100m/min, feed 0.1mm/rev, depth of cut 0.2mm. The tool shape on the insert tip are made chamfer angle from -25° to 5° . The main results obtained are follows: (1) The surface roughness in feed direction and the in circumference direction was existed an correlative. (2) In the chamfer angle -10° on the tool edge, the surface roughness at cutting could give rise to $R_{\text{max}} 4.0 \mu\text{m}$. (3) The tool life of this cutting was lager than other cutting.

KEY WORDS

Alumina-green compact, WC sintered carbide, Chamfer angle on the insert tip.

1. 緒 言

近年, 多種多様のファインセラミックス¹⁾が開発され, 高硬度および高強度の機械的性質を持つセラミックスの需要が増加している。

現在, 機械および電子部品に用いられるセラミックスの一部は, 原料の成形時において, 所定の寸法や形状に切削加工²⁾が施されている。この場合の切削加工面の表皮に残留するキズが, 焼結時のセラミックスの強度³⁾に大きな影響を与える。本研究は, 最近高

強度セラミックスの原料として期待されている $0.2 \mu\text{m}$ の粒子径を持つアルミナ微粉体を用いた成形体 (以下, 成形体と呼ぶ) の高精度切削を試み, 工具形状⁴⁾が仕上げ面粗さと工具摩耗に及ぼす影響について検討する。また, 切削加工時の仕上げ面粗さと成形体の加工表皮に残留するキズの大きさは, 比例的な関係にあると考え, 円周方向 (切削方向) と送り方向の仕上げ面粗さの関係を詳細に観察する。

2. 試料の調整及び方法

Table 1は, 本実験で調整使用したセラミックス成形体の物理的性質を示す。成形体は, 高純度 99.99% で粒径が $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ のアルミナ微粉体に水とアクリル系結合剤 2.8 wt%とポリエチレンアルコール 1 wt%とステアリン酸 0.5 wt%を加え, ボールミル中でスラリにし, スプレイドライで顆粒径 $50 \sim 80 \mu\text{m}$ の範囲で造粒を行った。また, 成形体は, 圧力 0.12 GPa でラバープレスを用いて製造する。成形体の硬度は, マイクロビッカースの硬度は, ばらつきが大きく, 平均 0.31 GPa であった。ショア硬度の値は, 比較的安定した値を示し, 平均 16 であった。

Table 1 Physical properties of alumina-green compact.

Alumina	[%]	99.99
Grain size	[μm]	0.2~0.3
A granule size	[μm]	50~80
Acrylic binder	[wt%]	2.8
Polyethylene	[wt%]	1.0
Stearic acid	[wt%]	0.5
Vickers hardness HV	[GPa]	0.31
Shore hardness HS		16

切削条件は, 熱伝導率の高い住友電工製の超硬合金工具 K10 を用いて, Table 2 の条件で乾式切削を行う。また, 工具形状は, コーナ部の先端に巾 0.2mm, 角度 $-25^\circ \sim 5^\circ$ のチャンファを設けた。刃先の加工法は, 工具研削盤 (伊藤製作所製 DP-520N) にて砥粒 500# で研削を行う。被削材である成形体に剛性が不足することから, 特殊なアダプタを用いて旋盤にチャッキングする。その構造は, 成形体の破壊を防止するために被削材の周囲に硬質ゴムを巻き, その上から鋼製の C 形の円筒形式のものとする。このアダプタを用いることで被削材である成形体の外周部に均等な面圧力が加わりチャッキング時の剛性が向上する。工具の摩耗は, オリパス製の工具顕微鏡で工具逃げ面摩耗幅 VB を測定し, 工具刃先の摩耗形態や被削材のクラック長さ, 切り屑の観察に走査型電子顕微鏡 (日立 S-2150) を用いた。また, 被削材の加工仕上げ面粗さ R_{max} の測定には, 東京精密製のハンディーマーサーフを使用し, 送り方向と円周方向の仕上げ面粗さを測定した。

Table 2 cutting condition.

Tool	K10
Cutting speed: V[m/min]	100
Feed: f[mm/rev]	0.1
Depth of cut: t[mm]	0.2
Tool shape	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8
Tool type	SNGN120408
Chamfer angle[$^\circ$]	$5^\circ \sim -25^\circ$

3. 実験結果及び考察

セラミックス成形体は, 通常切削加工を施すとき成形体表皮に微細な残留キズが発生し, 焼結後のセラミックス強度を大きく低下させる。本研究は, 仕上げ面粗さ R_{max} 値を低下させることで, 高強度セラミックスが製造できるものと考え研究を進めた。

Fig. 1 は, 加工仕上げ面粗さについて送り方向と円周方向 (切削方向) ⁵⁾ の仕上げ面粗さの関係を示す。セラミックス強度に大きな影響を与える円周方向の R_{max} は, 切削方向の R_{max} と強い相関関係を示した。両者の相関係数は, 0.98 に達することより, 送り方向の R_{max} 値を測定することによって, 容易に円周方向の R_{max} 値が推定できる。当然, 工具刃先の送りマークの影響を受ける切削方向の R_{max} 値は, 円周方向の R_{max} 値より大きい。今後, 仕上げ面粗さは, 測定が簡単な送り方向の面粗さ R_{max} 値で考察を行うこととする。

Fig. 1 Relation between surface roughness in feed direction and surface roughness in circumference direction, $V=100\text{m/min}$ $f=0.2\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$, Alumina-green compact vs K10.

Fig. 2は、付記の条件で切削した場合のチャンファ角 θ と仕上げ面粗さ R_{max} の関係を示す。最も良好な仕上げ面粗さは、 $\theta=-10^\circ$ のとき、最大最小値のばらつきの範囲が狭く、平均 $4.0\text{ }\mu\text{m}$ である。なお、これらのチャンファ切削においては、送りが微小であるためチャンファ内切削となり、実のすくい角 ϕ となる。 $\theta=-10^\circ$ 付近で最も良好な仕上げ面粗さが得られることから、この成形体を切削する最適な刃先形状と言える。また、仕上げ面粗さは、 $\theta=-10^\circ$ より負の方向あるいは正の方向に変化しても悪化する。これは、 $\theta=-10^\circ$ 以外の工具形状における切削は、刃先前方に大きな力が働き、大きな残留クラックを生成したものと考える。また、参考値としてマシナブルセラミックス⁴⁾の場合も同様にチャンファ角 $-15^\circ \sim -10^\circ$ で仕上げ面粗さが良好になる。クラックの不安定伝播が主原因の切削機構^{7,8)}を持つ成形体は、刃先形状 $\theta=-10^\circ$ のすくい角を施すことは高強度セラミックスの製造過程において有効な手段となる。

Fig. 2 Relation between chamfer angle and surface roughness, $V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$, Alumina-green compact vs K10.

Photo. 2は、各条件で切削したときの仕上げ面のSEM像を示す。 R_{max} 値が最も低い $\theta=-10^\circ$ のとき、仕上げ面が平坦で美しいことが分かる。 $\theta=5^\circ$ や $\theta=-25^\circ$ の仕上げ面には、顆粒径が切屑として抜けた跡や大きなキズ(クラック)が存在し、仕上げ面の悪化する要因となることが分かる。当然、これらの原因から焼結後のセラミックス強度を大きく低下させることが推定される。

Photo. 3は、Photo. 2の切削における切屑形状をSEMより観察したものを示す。切屑径 d の測定は、切屑形状を球と仮定して線分析法にて求めた。 $\theta=-10^\circ$

のとき、切屑が最も細かく、切屑径が均一となる。他の $\theta=5^\circ$ や $\theta=-25^\circ$ は、切屑径にばらつきがあり、不均一である。しかし、微粒子の切屑は、切削時に空气中に散乱して収集不可能であったため、測定の誤差は多少大きくなる。なお、 $\theta=-10^\circ$ の切屑は、スプレイドライで生成した顆粒径 $50\sim 80\text{ }\mu\text{m}$ に近い $d=78.3\text{ }\mu\text{m}$ と最も小さい切屑が発生していることが分かる。

Cutting condition.	SEM image.
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=5^\circ$ $R_{max}=11.25\text{ }\mu\text{m}$	
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=-10^\circ$ $R_{max}=4.0\text{ }\mu\text{m}$	
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=-25^\circ$ $R_{max}=12.31\text{ }\mu\text{m}$	

Photo. 2 SEM image of cutting surface of alumina-green compact.

Cutting condition.	SEM image.
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=5^\circ$ $d=128.2\text{ }\mu\text{m}$	
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=-10^\circ$ $d=78.6\text{ }\mu\text{m}$	
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=-25^\circ$ $d=139.3\text{ }\mu\text{m}$	

Photo. 3 SEM image of chips on alumina-green compact.

Fig. 3は、切屑径 d と仕上げ面粗さ R_{max} の関係を示す。この2つの関係より、切屑径 d と仕上げ面粗さ R_{max} には、相関関係が成り立ち、切屑から仕上げ面粗さが推定できる。なお、このときの相関係数は、 $r=0.96$ となる。

Fig. 4は、工具摩耗巾 VB と切削距離 L の工具摩耗進行曲線を示す。この場合、 VB は、仕上げ面粗さの R_{max} の低い $\theta=10^\circ$ と高い $\theta=25^\circ$ で評価を行った。 $\theta=25^\circ$ は、初期摩耗が $\theta=10^\circ$ より大きいことが分かる。これは、初期切削において切削機構から決まる切屑が、最も流れやすい方向に排出されることから、摩耗により刃先形状が変化したものと考えられる。当然、 $\theta=10^\circ$ は、本切削機構に刃先形状がよく一致することより、初期摩耗が発生しなかったものと言える。なお、その後、両工具とも定常摩耗は、平行に進行している。両摩耗の主原因⁹⁾は、成形体の主成分であるアルミナ粒子がアブレイブ摩耗を促進したと考える。

Fig. 5は、切削距離 L と仕上げ面粗さ R_{max} の関係を示す。切削距離が仕上げ面粗さに及ぼす影響について検討する。 $\theta=10^\circ$ の工具は、切削機構に適用した形状であるため、切削距離が変化しても比較的安定な R_{max} 値を示す。 $\theta=25^\circ$ の工具は、 $L=50m$ で最大の R_{max} 値を示し、その後徐々に低下することが分かる。これは、初期の切削で工具形状が切削機構によく合致しないため R_{max} 値が大きくなり、初期摩耗の終了で R_{max} 値が安定したと予想される。また、切削距離が $300m$ 以降では刃先形状が摩耗したことにより、 $\theta=10^\circ$ によく似た刃先形状に近づいたことから、 R_{max} 値もよく似た値を示したものと考えられる。

Fig. 3 Relation between surface roughness and chip size, $V=100m/min$ $f=0.1mm/rev$ $t=0.2mm$, Alumina-green compact vs K10.

Fig. 4 Relation between cutting length and width of flank wear, $V=100m/min$ $f=0.1mm/rev$ $t=0.2mm$, Alumina-green compact vs K10.

Fig. 5 Relation between cutting length and surface roughness, $V=100m/min$ $f=0.1mm/rev$ $t=0.2mm$, Alumina-green compact vs K10.

Photo. 4は、付記の条件で切削した場合の工具摩耗巾 VB を SEM より観察したものを示す。特に、仕上げ面粗さに関係深い前逃げ面境界摩耗について詳細に検討する。工具摩耗巾の観察距離は、 $L=100m$ の位置である。 $\theta=10^\circ$ のとき工具摩耗巾 VB は小さく、前逃げ面境界摩耗が美しく（シャープな面）平坦である。その他の $\theta=5^\circ$ と 25° の工具摩耗 VB は、大きさなばらつきがあり、前逃げ面境界摩耗が大きくなっている。また、工具と成形体の間に切屑が巻き込まれ、工具エッジにマクロチップングの発生が確認できる。特に、 $\theta=25^\circ$ は、前逃げ面境界摩耗が大きく鈍角で、バインダの付着が確認でき、仕上げ面粗さが悪化する。

Cutting condition.	SEM image.
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=5^\circ$ $l=100\text{m}$
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=-10^\circ$ $l=100\text{m}$
$V=100\text{m/min}$ $f=0.1\text{mm/rev}$ $t=0.2\text{mm}$ $\theta=-25^\circ$ $l=100\text{m}$

Photo. 4 SEM image of flank wear on K10.

4. まとめ

セラミックス成形体の高精度切削を試み以下の結論が得られた。

(1)強度に大きな影響を与える円周方向の仕上げ面粗さは、送り方向の仕上げ面粗さと相関関係があり、送り方向から円周方向の仕上げ面粗さが容易に推定が可能である。

(2)最適切削条件でチャンファ角 -10° を使用して切削した場合、仕上げ面粗さ R_{max} は、ばらつきの範囲が狭く平均 $4.0\mu\text{m}$ である。この切屑 d は、スプレイドライで生成した顆粒径 $50\sim 80\mu\text{m}$ に近い $78.6\mu\text{m}$ となる。

(3)チャンファ角 -10° は、 -25° に比べて初期摩耗の傾きが小さく長い工具寿命となる。工具摩耗巾VBは小さく、前逃げ面境界摩耗が美しく平坦である。また、チャンファ角 -10° の仕上げ面粗さ R_{max} は、切削距離が変化しても安定している。

(4)工具刃先形状のチャンファ角(すくい角) -10° にすることは、高強度セラミックスを得るための有効な加工法である。

文献

- 1)例えば浜野健也：ファインセラミックスハンドブック，(1984),459.
- 2)千徳，田中，河端：粉体粉末冶金，43,(1996),493.
- 3)西，杉田：粉体粉末冶金，41,(1994),1405.
- 4)千徳，柏本，藤村：粉体粉末冶金，39,(1992),646.
- 5)升田，黒島，真鍋：精密工学学会，54,(1988),2313.
- 6)鳴瀧，李，野口，水谷：精密工学学会，52,(1986),1876.
- 7)杉田，上田，橋本：精密機械，51,(1985),1940.
- 8)水谷，谷先，田中，井戸：精密機械，49,(1983),156.
- 9)升田，黒島，真鍋：精密工学学会，53,(1987),1924.