高速遠心成形法による高純度アルミナセラミックスの切削性能

田島 俊造, 山根八洲男, 黒木 英憲, 鳴瀧 則彦

広島大学工学部第一類, 〒739 東広島市鏡山1-4-1.

Cutting Performance of High Purity Alumina Ceramic Tools formed by a High-speed Centrifugal Compaction Process

Shunzo Tashima, Yasuo Yamane, Hidenori Kuroki and Norihiko Narutaki

Cluster I, Fac. Eng. Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-hiroshima 739.

Received December 21, 1994

SYNOPSIS

Using a high-speed centrifugal compaction process (centrifugal force: $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 G$) developed by the authors, a slip prepared from alumina powder with a purity of 99.99 % and an average particle size of $0.22 \mu m$ was compacted, and sintered at $1220^\circ C$ for 1.5 hours in the atmosphere. The sintered compact has superior mechanical properties, including a 3-point bending strength of 1330 MPa and a Vickers hardness of 2100.

The cutting performance of this high-strength alumina sintered compact was studied in this experiment. The results show that tools manufactured using the subject high-speed centrifugal compaction process have relatively high wear resistance and toughness as compared with commercially available high purity alumina ceramic tools.

KEY WORDS

alumina, high purity, centrifugal compaction, cutting tool, wear resistance.

1 緒 言

セラミックス泥漿を金型に装填後, 重力倍数 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 G$ 程度の高い遠心力を作用させて成形する高速遠心成形法¹⁾による高純度アルミナ超微粉の成形体は, $1220^\circ C$ -2 h の低温焼成で相対密度99%以上の焼成体を得られ, SEM観察では結晶粒が微細でボイドが認められず均質であり, 優秀な機械的性質を有する²⁾.

従来, アルミナ焼成体は高温強度が高く, 鉄と化学的に反応し難いなど切削工具として好ましい性質を有する反面, アルミナ-ジルコニア焼成体など

に比べ靱性が低く, 熱衝撃に弱いとされている³⁾. しかし, 上記高速遠心成形法による焼成体は従来のアルミナに比べ高強度であり, そのようなアルミナは高橋ら^{4, 5)}が指摘しているように切削工具として耐摩耗性, 耐欠損性に優れる可能性がある.

また, 高橋ら^{4, 5)}はアルミナセラミックスの高強度化および用途拡大を目的として, 高純度アルミナを真空焼成後, HIPして平均粒径 $0.8 \mu m$, 3点曲げ強度 1300 MPa の焼成体を得て, その性質や切削性能を検討している. しかし, HIP処理を施す場合, 粒成長抑制のために 500 ppm 程度の MgO を添加す

ることが必要で、1000 ppmのMgO添加により高温強度が低下するとの報告⁶⁾があり、その種の添加物を要しないことも高速遠心成形法によるアルミナの長所になる可能性がある。

そこで本実験では、高純度アルミナ超微粉の高速遠心成形体を1230℃の低温で1.5 h大気焼成した高強度焼成体の切削性能を市販の純アルミナセラミック工具と比較して調査した。

2 実験方法

2.1 使用材料及び成形焼成

本実験で使用したアルミナ粉末(大明化学工業製タイミクロンTM-DAR)は純度99.99%, 平均粒径0.22 μm で、非常に微細かつ高純度である。

分散処理の条件及び泥漿の特性をTable 1に示す。既報^{1, 2, 7)}とほとんど同様で、分散材にはポリカルボン酸アンモニウム(東亜合成化学製アロンA-6114)を、結合剤にはアクリルポリマー(東亜合成化学製AS-7503)を用いた。泥漿の粘度はずり速度19.2 s^{-1} において100~300 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (分散処理温度12~15℃, 粘度測定温度20±0.5℃)であった。

試片は高速遠心成形¹⁾により $1\times 10^4\sim 1.5\times 10^4$ Gの遠心力で16×16 mm角、高さ7 mmにアルミニウム合金製金型を使用して成形した。成形体の水分量は約14 mass%, 粒子充填率は約62%であった。

成形体は、乾燥後大気炉により500℃で1 h脱脂を行い、1230℃で1.5 h焼成した。

2.2 工具形状及び材料特性

焼成体は、ISO規格のSNGN120408と同一形状(チャンファ形状:0.18mm×25°)に研削加工し工具(以下、AC工具と略す)とした。比較した工具は市販の純アルミナ系セラミック工具(以下、AW工具)である。

Table 1 Compositions and properties of slip.

Slip concentration	75 mass%
Dispersion agent (Poly-carboxylic ammonium)	0.6 mass%
Binder (Acrylic polymer)	0.1 mass%
Dispersion time	16 ~ 48 h
Coefficient of viscosity (Dispersion temperature)	100 ~ 300 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (12 ~ 15℃)

Table 2 Properties of ceramic samples.

	AC	AW
3 - point bending strength (MPa)	1330	780 [*]
Vickers hardness (by 49 N)	2100	1650
Fracture toughness (IF Method, by 196 N) (MPa/ $\text{m}^{1/2}$)	3.3	3.5
Density (Mg/ m^3)	3.95	3.94
Relative density (%)	99.0	--

(^{*}: Manufacturers' data)

Photo. 1 Scanning electron micrographs of fracture surfaces.

各工具の特性をTable 2に示す。なお、曲げ強度は3点曲げ(JIS R1601, スパン30 mm)により、破壊靱性値はIF法により荷重196 N(20 kg f)で測定した。市販品のAW工具に比べAC工具が、3点曲げ強度は約70%, ビッカース硬度は約30%高い値を示したが、破壊靱性値は同等であった。

各工具の破面のSEM写真をPhoto. 1に示す。AW工具の破壊が粒界を通るのに対し、AC工具の破壊は粒内を通して進展しており高強度を裏付けている。破面写真から平均粒径を測定すると、AC工具は約0.7 μm で微細な組織であるが、AW工具は約2 μm であった。

2.3 切削実験

切削実験では工具の耐摩耗性と耐欠損性を調べた。

耐摩耗性試験は、FC 250 普通鑄鉄の連続鑄造材 (FC 250-CC)丸棒について乾式外径旋削を行い、工具の横逃げ面の摩耗幅を測定、評価した。工具の取付角は(-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8)である。

また耐欠損性試験は、マシニングセンタを用いた S 45 C 炭素鋼角ブロックの正面フライス切削で行った。試験は、切削速度を一定 (200 m / min) とし、一定距離 (480 mm) 切削する毎に送りを順次高めて、欠損するまでの最大送り量で耐欠損性を評価した。なお、実験は各 3 回行い、3 回の繰り返しで何れも欠損した場合を切削不能と判断した。使用したカッタは呼び径 100 mm, 軸方向すくい角 - 5°, 半径方向すくい角 - 5° のダブルネガタイプで、工具を 1 個のみ取り付けで実験した。

それぞれの実験条件を、Table 3, 4 に示す。

3 結 果

3.1 旋削による耐摩耗性試験

Fig. 1 に FC 250 - CC の切削において、送り速度 0.39 mm / rev とした場合の工具の横逃げ面平行部摩耗幅及び前逃げ面境界摩耗幅の増加状況を示す。なお、送り速度を 0.21 ~ 0.50 mm / rev の範囲で変

Table 3 Conditions of turning tests.

Work	FC 250 - CC (Continuous - cast gray iron)
Tool geometry	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8
Cutting speed	300 m/min
Depth of cut	1.0 mm
Feed rate	0.21 ~ 0.50 mm/rev
Cutting fluid	Dry

Table 4 Conditions of face milling tests.

Work	S 45 C
Work width	80 mm
Work length	480 mm
Cutting speed	200 m/min
Depth of cut	1.0 mm
Feed rate	0.10 ~ 0.50 mm/tooth
Cutting fluid	Dry

化させた場合、同様の傾向であった。また、Fig. 1 の 5 min 切削時の工具写真を Photo. 2 に示す。これらの結果によれば、全体に AW 工具に比べ AC 工具

(V = 300 m/min , d = 1.0 mm , f = 0.39 mm/rev)

Fig. 1 Wear progress curves of tools tested during turning FC 250-CC.

(V = 300 m/min , d = 1.0 mm , f = 0.39 mm/rev)

Photo.2 Wear pattern of tested tools (FC 250-CC, cutting time = 5 min).

の摩耗幅の方が小さく、特に前逃げ面境界摩耗幅は AC 工具が AW 工具の約1/3であり、その差は歴然としている。

3.2 断続切削による耐欠損性試験

Table 5 に S 45 C の正面フライス切削による耐欠損性試験の結果を示す。また、送り速度 0.20 mm/tooth の場合の両工具の摩耗状況を Photo. 3 に示す。

AW 工具では 0.20 mm/tooth の送りで境界部にチップングあるいは欠損が見られるのに対し、AC 工具ではこれらが認められない。

これらの結果から、AC 工具は市販の純アルミナ系工具の AW よりも優れた耐欠損性を示すことが分かる。

4 考 察

実験結果から明らかなように、高速遠心成形を利用して成形、焼成した AC 工具は、耐摩耗性、耐欠損性の何れも市販の AW 工具に比べ優れていた。一般に旋削加工における工具の耐摩耗性は、溶着や拡散などの現象が生じない場合は、工具の硬さ（特に高温硬さ）に左右され、断続切削における耐欠損性は靱性及び耐熱亀裂性に左右されると考えられる。

本実験の AC 工具は Table 2 にも示しているように、硬さ強度とも AW 工具に比べ優れており、これらの特性が耐摩耗性の差として現れたものと考えられる。また耐欠損性については、靱性値は Table 2 のように、AC 工具と AW 工具でほぼ同程度であるが、AC 工具が焼成助剤を含まないことから、高温における強度低下は AC 工具の方が小さいと予想される。実際に、本焼成体について結晶粒界の TEM 観察を行い、XEDS (X-ray Energy Dispersive Spectroscopy) により ビーム径 0.5 nm で組成分析を行った結果⁸⁾では、焼成体には粒界相が存在せず、粒界不純物が検出されなかった。なお、耐熱亀裂性についても、AC 工具では工具すくい面に熱亀裂が観察されても直ちに欠損に至ることは少なく、亀裂の進展速度が遅いことが推測される。

アルミナ系工具は、その開発以来、耐欠損性の不足が常に問題となり、焼成助剤をはじめとして TiC やジルコニアの粉末あるいはウィスカなど様々な物質の添加により靱性向上が図られてきた。しかし、他成分の添加による改良は耐摩耗性を低下させる場合が多いことから、今日では耐欠損性があまり問題とならない鑄鉄の旋削などに対して純アルミナ系工

Table 5 Results of face milling tests.

Feed rate (mm/tooth)	AW	AC
0.10	○ ○ ○	○ ○ ○
0.15	○ ○ ○	○ ○ ○
0.20	○ ○ ○	○ ○ ○
0.25	× × ×	○ ○ ○
0.30		○ ○ ○
0.35		○ ○ ○
0.40		○ ○ ×
0.45		○ × ×
0.50		× × ×

(○ : No fracture, × : Fracture)

(V = 200 m/min, d = 1.0 mm, f = 0.20 mm/tooth)

Photo.3 Wear pattern of tested tools (S 45 C, cutting time = 4 min).

具が使用されている。その中で、比較材として用いた純アルミナ系工具材料 AW は HIP 処理を行ったり、各種焼成助剤を添加するなどの方法を用いて作製されている。

それに対し, 高速遠心成形法で比較的簡単に成形した高純度アルミナが単なる大気中焼成により, 切削工具として使用に耐え得る優れた性質に達するのは極めて興味深いことであり, 優れた機械的特性を実現する上での高速遠心成形法の高い可能性を示している。また, この材質発現のメカニズムを究明することは, 高温強度などとも関連して今後の重要課題と考えられる。

5 結 論

純度99.99%, 平均粒径 $0.22\mu\text{m}$ のアルミナ粉末を高速遠心成形し, 大気中で低温焼成して得た工具と, 市販の純アルミナ系セラミック工具について切削性能を比較した。耐摩耗性試験にFC250普通鑄鉄(連続鑄造材), 耐欠損性試験にS45C炭素鋼を被削材として用いたところ, 下記の結果が得られた。

1) 焼成助剤無添加の純アルミナを高速遠心成形後, 1230°C -1.5h大気焼成した焼成体は, 市販の純アルミナ系セラミック工具以上の耐摩耗性を有する。

2) 上記試作工具は, 市販の純アルミナ系セラミック工具に比べ, 耐欠損性が高い。

文 献

- 1) 田島 俊造, 隅田 雅之, 黒木 英憲: 粉体および粉末冶金, 39(1992) 39.
- 2) 田島 俊造, 橋本 重昭, 黒木 英憲: 粉体および粉末冶金, 41(1994) 180.
- 3) 奥田 博, 平井 敏雄, 上垣外 修己: 構造材料セラミクス, オーム社(1987) 88.
- 4) 高橋 俊行, 勝村 祐次, 鈴木 寿: 粉体および粉末冶金, 40(1993) 805.
- 5) 高橋 俊行, 勝村 祐次, 鈴木 寿: 粉体および粉末冶金, 41(1994) 33.
- 6) Y. Yoshizawa, T. Sakuma: Acta metall. mater., 40(1992) 2943.
- 7) S. Tashima, H. Kuroki: Proc. Powd. Met. World Congress, Kyoto(1993) 883.
- 8) 脇谷聡一郎, 小池 淳一, 丸山 公一, 田島 俊造, 及川 洪: 日本金属学会講演概要, 1995春期, No. 272.