

ダイヤモンド砥粒によるファインセラミックスの 加工表面性状に関する研究

米澤俊昭*・田戸 保*・瀬戸雅文**
森重修一**

Study on Machined Surface Quality of Fine Ceramics by Fly Milling with Diamond Grain

Toshiaki YONEZAWA, Tamotsu TADO, Masafumi SETO
Shuichi MORISHIGE

Abstract

The machined surface quality of the fine ceramics (Al_2O_3) was studied by a fundamental cutting experiment with a fly milling method on a single diamond grain (mono-crystalline type, fracture type, multi-grain type). It was found with fine ceramics that the cutting process was consist of plastic deformation and brittle destroy, and the other observations were micro fracture damage under the machined surface, at the obserbation of SEM (Scaning Electric Microscope). The wear form of cutting edges on diamond grain was recognized in the difference of diamond crystalline structure.

1. はじめに

セラミックスは電磁氣的・光学的・機械的・化学的・熱的機能に優れた材料であり、陶磁器から電子デバイス材料まで幅広い分野に用いられている。しかし、一般的に用いられている金属材料に比べ2倍以上の硬さと脆さを有しているため非常に加工が困難である¹⁾²⁾。

セラミックスの加工には、おもにその硬さ、強さ、耐磨耗性からダイヤモンド砥石が用いられている。しかし、通常のダイヤモンド砥石では砥粒切れ刃の形状、分布が一定ではなく、研削作業中に一個の砥粒に着目し、砥粒切れ刃による切削機構や被削材への影響を詳細に調べることは非常に困難である。それ故、単粒ダイヤモンドでファインセラミックスを引っかけて切削機構を解明しようとする研究³⁾⁴⁾が行われているが、研削速度が一般の研

削加工に比較して非常に低く、また成形されたダイヤモンドが用いられていることが多い。

そこで、本研究では微粒人造ダイヤモンド砥粒による単粒研削方式⁵⁾を採用し、アルミナセラミックス(Al_2O_3)材の研削加工実験を行い、加工面性状および各種ダイヤモンド砥粒の特性について検討を行った。

2. 実験方法および実験装置

実験に使用したアルミナセラミックスは、15mm×15mm×7mmの形状に加工し、ダイヤモンドラッピングペースト(No.60およびNo.10)でラッピングを行い、超精密研磨用ダイヤモンドシート(#5000)によって表面仕上げしたものを用いた。この試料の表面組織を図1および物理的性質を表1に示す。この試験片を試料台に固定し、図2に示すような単粒研削方式で実験を行う。平面研削盤の主軸にアルミニウム製円盤(直径200mm、厚さ20mm)を取付け、その円周上に単粒工具を固定し、切削時のテーブル送りは主軸方向に手送りにて行った。切削条件は、周速

*宇部工業高等専門学校制御情報工学科

**宇部工業高等専門学校機械工学科

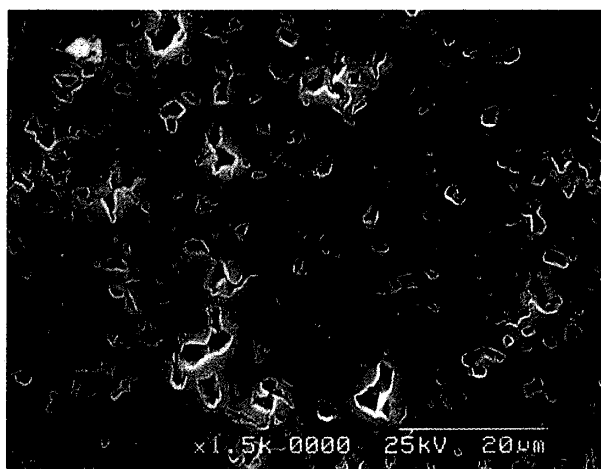


図1 試料の表面組織

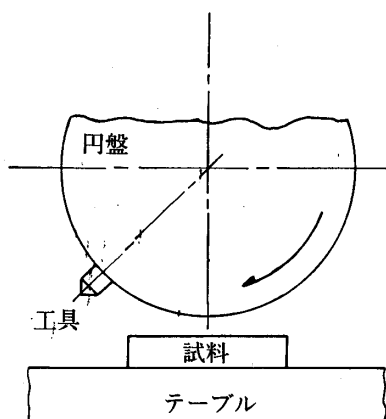


図2 実験方法

表1 試料の物理的性質

アルミナ含有量		%	92
機 械 的 特 性	ビッカース硬さ	(kg/mm ²)	1,350
	曲げ強さ	(kg/cm ²)	3,200
	圧縮強さ	(kg/cm ²)	23,500
	引張り強さ	(kg/cm ²)	1,900
	ヤング率($\times 10^6$)	(kg/cm ²)	2.7
	ポアソン比		0.23

度一定(2000m/min)、乾式で行い、設定切り込み深さは2 μ mから20 μ mまでの範囲で行った。

ダイヤモンド砥粒の形状には種々なものがあるが、本実験では代表的なものとして図3に示す

- (a) 8面体等の形態を有する単結晶型ダイヤモンド
(以下SGタイプ)
- (b) (a)を破碎した破碎型ダイヤモンド
(RGタイプ)
- (c) 微粒子が凝集してできた多粒子型ダイヤモンド
(AGタイプ)

の3種類の人造ダイヤモンド砥粒を使用した。単粒工具は、銅製の治具の先端に砥粒を埋め込み、電解ニッケルメッキにて固定したものを用いた(図4)。

加工表面性状の評価には、走査型電子顕微鏡(株式会社日立製作所、S2300)による観察、触針式表面粗さ測定機(株式会社東京精密、サーフコム470A)による表面形状の測定を行った。砥粒の評価には、砥粒の形状を研削前と研削後におけるSEM像の観察により行った。

3. 実験結果

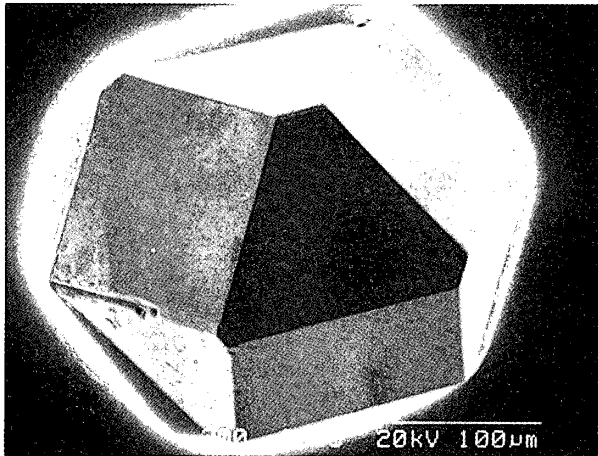
3.1 加工表面の観察

一般に、セラミックスの加工機構としては脆性破壊が主たるものだとされている。しかし、今回の実験で次のような結果が得られた。

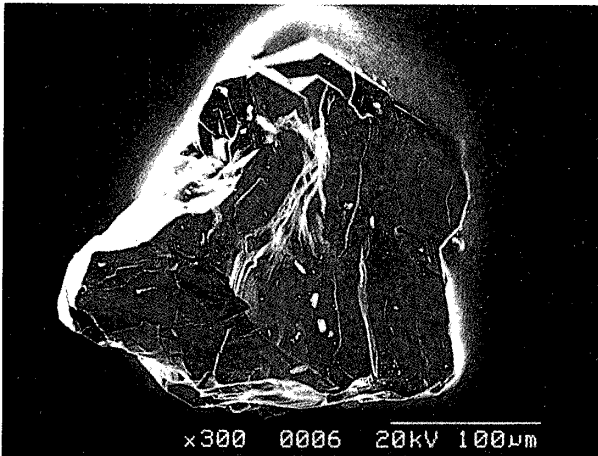
図5は、切削溝のSEM観察写真である。(a)は、切削溝周辺に試料の盛り上がりが見られ塑性変形していることがわかる。溝底部には気孔の周辺が毛羽立ったような面が見られる。このことからセラミックスの気孔が仕上げ面に大きな影響を与えることがわかる。(b)は、(a)に比べ盛り上がりも大きく、溝底部には溶融現象が観察される。(c)は、(a)、(b)に比べ溝周辺の盛り上がりも見られず、溝底部も滑らかな面を見せている。これは、微少な切り込みにより砥粒が試料に食い込まず、試料表面を滑っているものと考えられる。

図6は、実際の加工表面を観察するため表面を磷酸により化学エッチングを施したものである。切削溝周辺に大規模なチップングが観察される。これは、セラミックスの切削加工は、ダイヤモンド砥粒によるセラミックスの除去機構が主に脆性破壊で行われていることを示している。溝底部も切削によって生じた脆弱な部分が除去されて、加工表面深く影響を及ぼしていることがわかる。

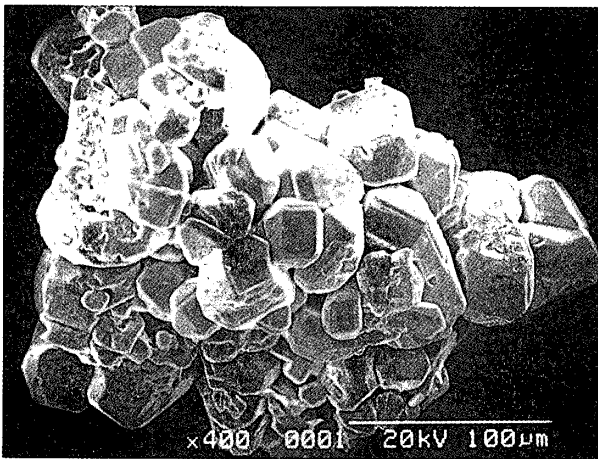
図7は、切断時のだれを防ぐために試料に無電解ニッケ



(a) 単結晶型



(b) 破碎型



(c) 多粒子型

図3 ダイヤモンド砥粒

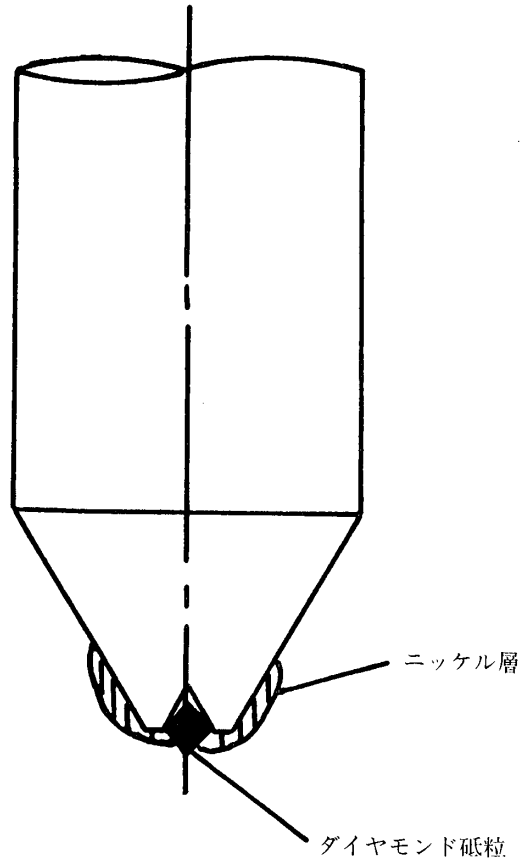
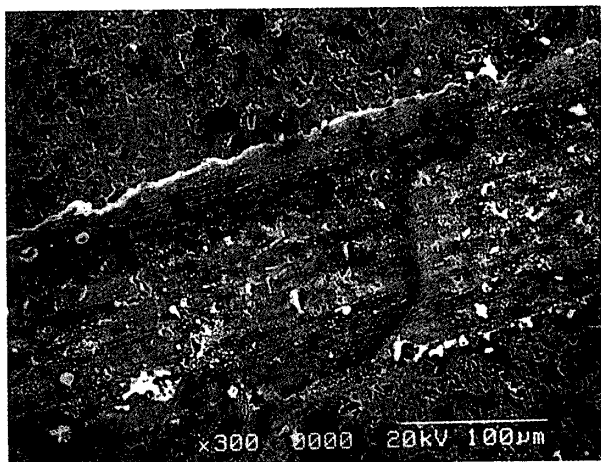


図4 単粒工具

ルメッキを施し、樹脂で固めた後溝に対して垂直に切断、研磨して切削溝断面を観察したものである。切削溝の直下で表面に沿って試料と組織が違う部分が見られる。このことから加工表面側から滑らかなように見えても実際には加工表面下では微細な亀裂が生じているものと考え

3.2 切り込み深さと盛り上がり高さの関係

被削材表面を切削することにより、切削溝が形成されるが、その溝にあった材料は、切屑として排出される他にセラミックス材においても金属材料と同様図8に示すような溝の両側に塑性変形による盛り上がり現象を生じている。この盛り上がり現象は、仕上げ面あらさに大きな影響を及ぼすことは周知である。この盛り上がり現象を定量的に評価するために図8に示す緒元を用いて次のように定義する。



(a)

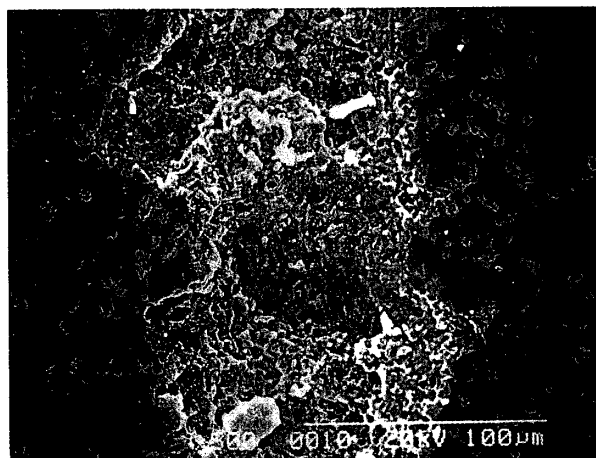
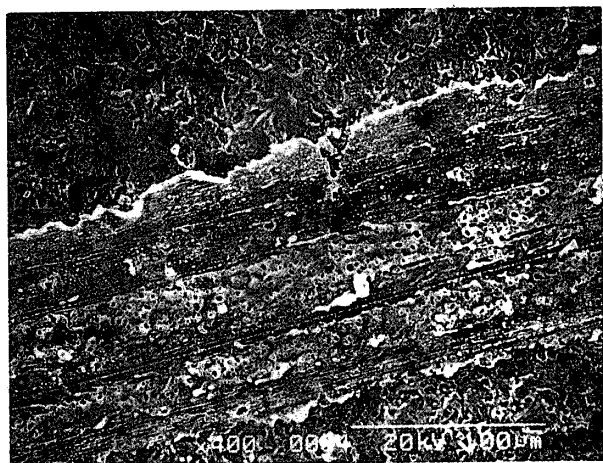


図6 化学エッチングした切削面



(b)

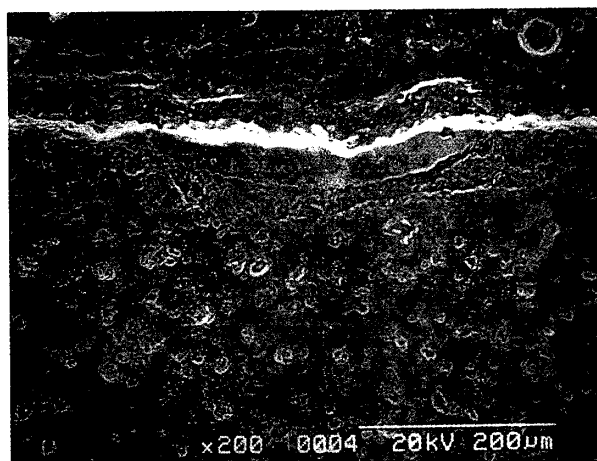
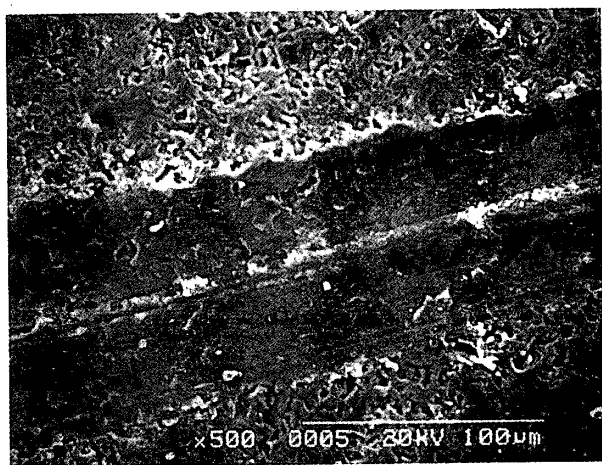


図7 切削溝の断面



(c)

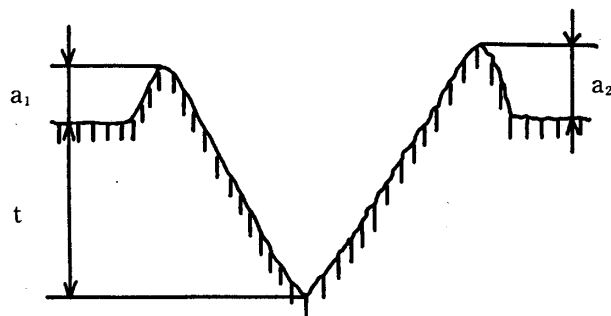


図8 切削溝断面形状

図5 切削面

盛り上がり高さ係数 γ

$$\gamma = (a_1 + a_2) / 2t$$

ただし、

a_1, a_2 : 切削溝側面上の盛り上がり高さ

t : 被削材表面から溝底までの高さ

図9は、セラミックスの単粒研削における切り込み深さと盛り上がり高さとの関係を示している。これより切り込み深さが増すにつれて盛り上がり高さも増加していることがわかる。2 μm 程度の切り込みでも盛り上がり高さが確認できることから微少切削においても材料の除去、塑性変形が行われていることがわかる。図10は、切り込み深さと盛り上がり高さ係数 γ との関係を示したものである。切り込み深さが増すにつれて盛り上がり高さ係数は減少している。これは、一般の金属で表れる現象⁶⁾であるが、セラミックスの場合盛り上がり高さ係数の値が金属に比べ小さいことがわかる。

3.2 ダイヤモンド工具の観察

ダイヤモンド砥粒の種類によってセラミックス研削後における砥粒作用面上の変化の観察を行った。

図11は、SGタイプの (a) 研削前、(b) 研削後の写真である。双方の写真を比較してみると、多少の摩耗が認められるが原型をとどめている。SGタイプは耐破砕性に優れているため高能率な加工に向いていると考えられる。図12は、RGタイプの (a) 研削前、(b) 研削後の写真で

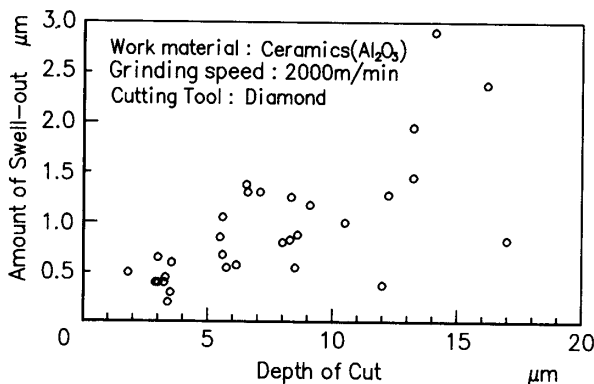


図9 切り込み深さと盛り上がり高さの関係

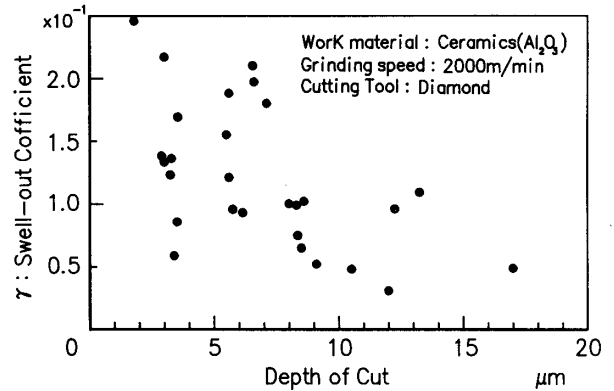
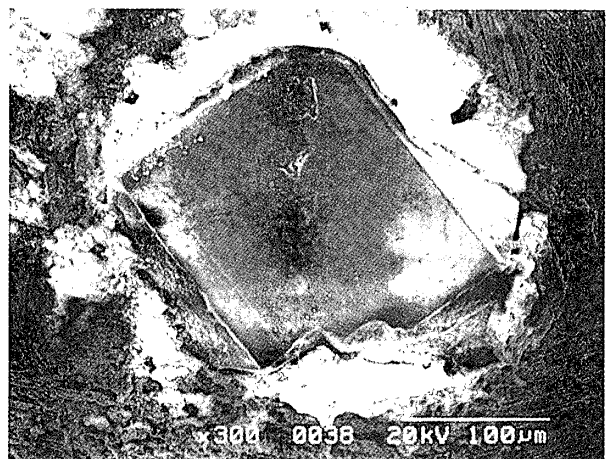


図10 切り込み深さと盛り上がり高さ係数の関係

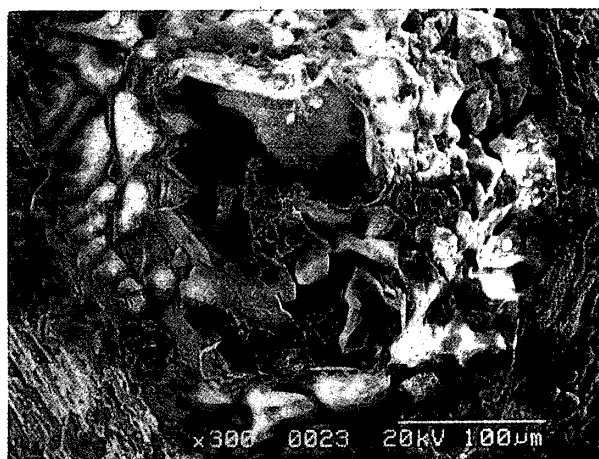


(a) 研削前

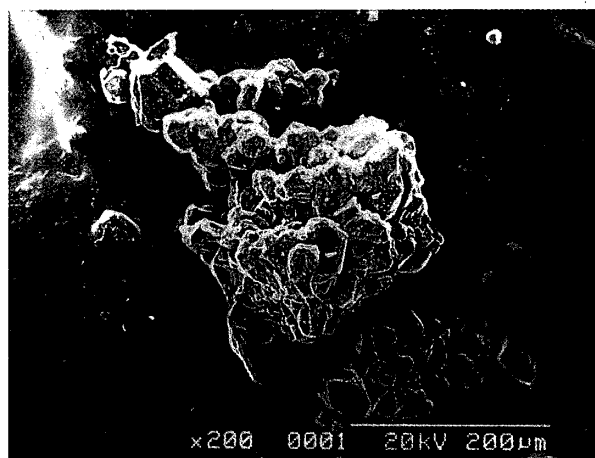


(b) 研削後

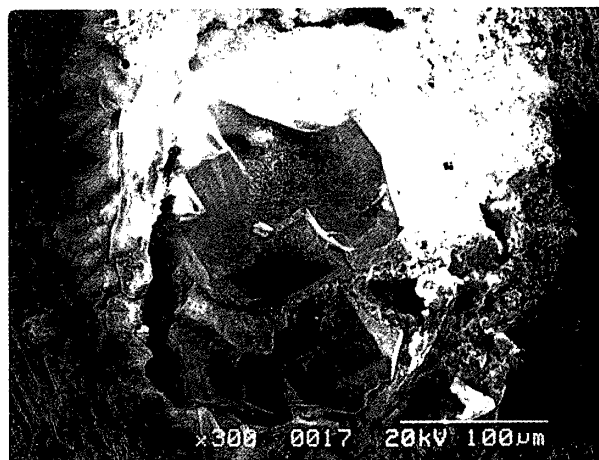
図11 ダイヤモンド砥粒の状態 (SG)



(a) 研削前



(a) 研削前



(b) 研削後



(b) 研削後

図12 ダイヤモンド砥粒の状態 (RG)

図13 ダイヤモンド砥粒の状態 (AG)

ある。研削後の写真を見ると研削点に欠損（微小破碎）が認められる。このことはRGタイプはセラミックス研削中に砥粒が微小破碎を生じ、新しい切れ刃が生成していくため、精密加工や鏡面加工に向いていると考えられる。図13は、AGタイプの (a) 研削前、(b) 研削後の写真である。研削後の写真には砥粒が存在せず、研削中にダイヤモンド粒子が飛び散ってしまっている。これは、

ダイヤモンド粒子同士の結合力によってのみ保持されているため、研削時の荷重に耐えきれなかったものであると考える。

4. まとめ

ファインセラミックス (Al_2O_3) を各種ダイヤモンド砥

粒（単結晶型、破碎型、多粒子型）を用いて、単粒研削による基礎実験を行い、加工面性状、ダイヤモンド砥粒の評価等を行った。そのおもな結果は次のようである。

- 1) セラミックスの加工機構について、脆性破壊が主たるものだと考えられていたが、塑性変形と脆性破壊とが生じていることがわかった。また、加工表面が滑らかでも実際には微細な亀裂が表面下に生じており、加工面を崩していることが認められた。
- 2) ダイヤモンド砥粒の観察によって、それぞれの砥粒の特性が明かとなった。セラミックス加工の目的に応じて用いる砥粒形状を選定する必要があることがわかった。

5. 謝 辞

本研究にあたって実験に協力された本校卒業生 石村 勇、熊谷 浩二両君に深く感謝いたします。

なお、本研究の一部に特定研究費を充当しました。

6. 参考文献

- 1) セラミックス加工ハンドブック編集委員会：セラミックス加工ハンドブック—基礎から応用例まで—(1987)，(株)建設産業委員会
- 2) 杉田忠彰編著：セラミックスの機械加工、(1985)、養賢堂
- 3) 張、戸倉、吉川：円すいダイヤモンドの引っかきによるアルミナ表面の亀裂の生成について、精密工学会誌、53巻5号、p826-832(1987)
- 4) 松尾、大島：上向き単粒研削法によるダイヤモンド及びCBN砥粒の定量的評価、窯業協会誌、95巻4号、p394-399(1987)
- 5) G. K. Lal, M. C. Shaw: Wear of Single Abrasive Grain Fine Grinding, Proc. Int Grinding Conf. Pittsburgh, Pa., p107 (1972)
- 6) 佐久間、田戸：鋼の研削特性に対する熱処理の影響、機論、44巻388号、p4369-4382 (1978)

(平成3年9月24日受理)