

## セラミックスの加工技術

新技術応用部 佐川 克雄

### 1. 緒言

近年構造用セラミックスの需要が増大している。しかしセラミックスは成形焼成時に形状を決めることができるが、寸法精度は良くない。そのためセラミックスを機械部品として使用するためには、焼結後に機械加工が必要である。セラミックスの加工の特徴としては、寸法精度及び表面粗さが重要である。ラッピングも重要な加工方法の一部を占める。

またセラミックスのラッピングにおいては、ダイヤモンド遊離砥粒が使われる。このダイヤモンド遊離砥粒は高価であるので、砥粒損失のないダイヤモンド砥石に着目した。そしてこのダイヤモンド砥石を最終仕上げ前の荒加工に使うことを主目的とした、代表的構造用セラミックスである窒化ケイ素セラミックスの加工実験について報告する。この方法は、回転平面砥石によるホーニングである。

なお本報告書は、中小企業事業団の中小企業技術指導員養成課程6ヶ月コースのなかで、工業技術院機械技術研究所での実習として行ったものである。

### 2. 実験方法

窒化ケイ素セラミックスについて、ダイヤモンド電着砥石及びダイヤモンドビドリファイド砥石を使用し、加工圧力をかえながら加工特性(加工量、表面粗さ等)を調べる。

また難削材料の加工に有効な超音波振動を付加し、ダイヤモンド電着砥石について、超音波の出力及び角度をかえた場合の加工特性(加工量、表面粗さ等)を調べる。

#### 実験装置

- ・ラップ盤 ムサシノ電子(株)製 MA 300 を改良して、ラップ回転速度を速くしたもの  
回転数 0 から 270 rpm
- ・ダイヤモンド・#200 外径 204mm 内径 40mm 粒子数約 170 個/mm<sup>2</sup>
- ・ダイヤモンド電着・#400 外径 204mm 内径 40mm 粒子数約 650 個/mm<sup>2</sup>
- ・砥石・#800 外径 204mm 内径 40mm 粒子数約 3400 個/mm<sup>2</sup>
- ・ダイヤモンド・#230 外径 250mm 内径 90mm
- ・ダイヤモンドビット FSK MD 230 C 50
- ・リファイ・#400 外径 250mm 内径 90mm
- ・砥石 FSK MD 400 C 50
- ・超音波発振器 LAPTRON-20 スタンレー電気(株)製 30KHz
- ・窒化ケイ素セラミックス 9.5mm×9.5mm×2.0mm 常圧焼結
- 見掛気孔率 0 かさ密度 3.2 g/cm<sup>3</sup> 圧縮強さ 400kg/mm<sup>2</sup> 曲げ強さ 60kg/mm<sup>2</sup>(室温)

45kg/mm<sup>2</sup>(1000 ) ヤング率 2.8×10<sup>4</sup>kg/mm<sup>2</sup> 硬度 HV1600kg/mm<sup>2</sup> 破壊じん性値 K1c5  
 ~6MN/m<sup>3/2</sup> ポアソン比 0.27 比熱 0.17ca1/g 熱膨張率(20~1000 ) 3.2×10<sup>-6</sup>/  
 耐熱衝撃 T 600 熱伝導率 0.04ca1/cm・sec・ 電気抵抗率 >10<sup>13</sup> cm

### 3. 実験結果及び考察

ダイヤモンドビトリファイド砥石#230, #400及びダイヤモンド電着砥石#200,#400について,加工圧力と加工量,表面粗さについて実験を行った結果を表1と図1~5に示す。

図1と図2では,加工圧力を0.98,0.48,0.36,0.60,0.73,0.85, 0.23kg/cm<sup>3</sup>の順にかえながら測定した、電着砥石は新品同様(15分間程度使用)のものであった。

そこでダイヤモンド電着砥石の摩耗実験を行った結果が図10である。

表面粗さは図4と図5に示すように、ビトリファイド砥石においては,加工圧力による違いは認められない。また摩耗実験を行った時の表面粗さを表2に示す。

表1 表面粗さ

砥石	加工圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	R max (μm)	R z (μm)	R a (μm)
ダイヤモンド ビトリファイト#230	0.98	1.962	0.894	0.117
ダイヤモンド ビトリファイト#400	0.98	1.403	0.853	0.109
ダイヤモンド電着 #200	0.23	3.486	2.103	0.390
ダイヤモンド電着 #400	0.23	2.620	1.279	0.186

表2 表面粗さ ダイヤモンド電着砥石#200 加工圧力 0.98kg/cm<sup>2</sup>

使用時間(分)	R max	R z	R a
200	2.909	1.460	0.217
400	2.187	1.213	0.176

次にダイヤモンド電

着砥石を使用し,超音波振動を試料に付加して加工をした場合の加工量は,図6のようになり,砥石による違いは認められるが,今回の実験では超音波振動の強さ及び超音波振動の方向についての違いは,認められなかった。

表面粗さについては図7~9に示すとおり,超音波振動の強さ及び超音波振動の方向についての違いは認められず,加工量の場合と同様に,砥石による違いが認められるだけである。

しかし超音波振動を付加した場合は,付加しない場合と比較すると,加工量は増大し,表面は粗くなる。

また電着砥石#200について摩耗実験を行った時の結果であるが,砥石の摩耗につれて加工量は減少

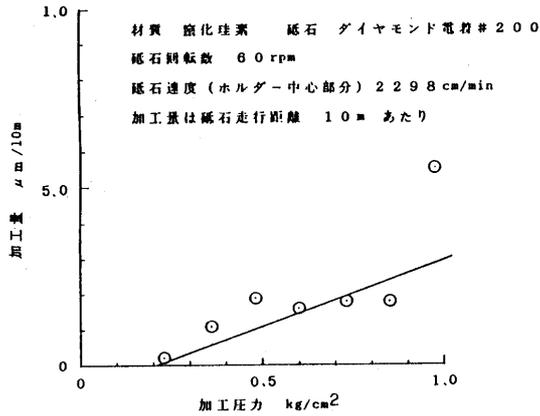


図1 加工圧力と加工量

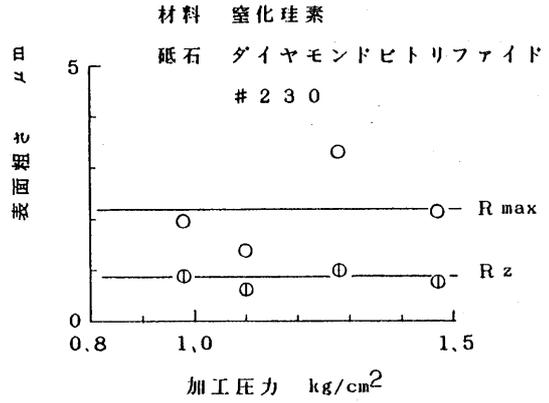


図4 加工圧力と表面粗さ

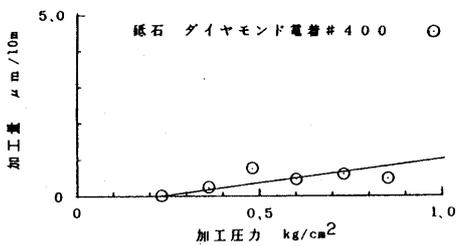


図2 加工圧力と加工量

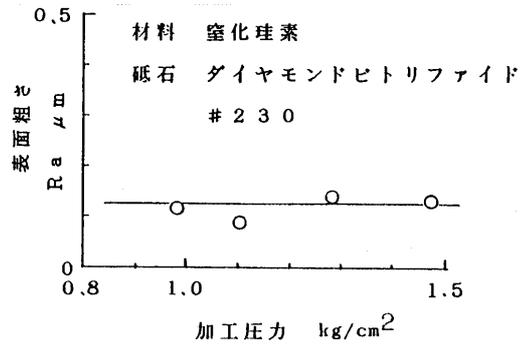


図5 加工圧力と表面粗さ

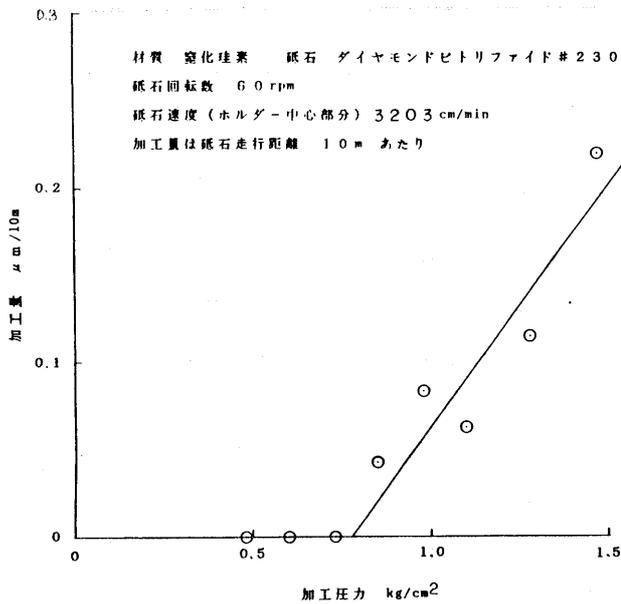


図3 加工圧力と加工量

し、表面粗さは向上する。ただし加工変質層については深くなる1)。このことは、セラミックスの強度低下につながるのので、注意をする必要がある。

ここで単粒による超音波を付加した場合の加工実験結果2)によると、超音波振動を鉛直及び引っかかり方向と同じ方向にした場合は、加工量が増大する。ロックウェル圧子の場合、超音波を付加しないと加工できないような荷重でも、超音波振動を付加すると加工できるし、加工クラックも小さくなる。これらのことから、超音波振動を付加すると、加工量の増大することを予想できる。また超音

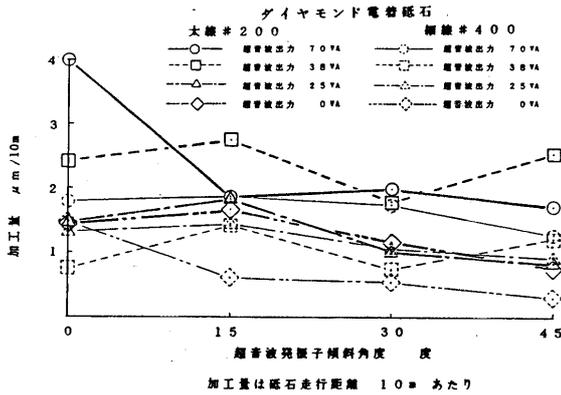


図6 超音波発振子傾斜角と表面粗さ

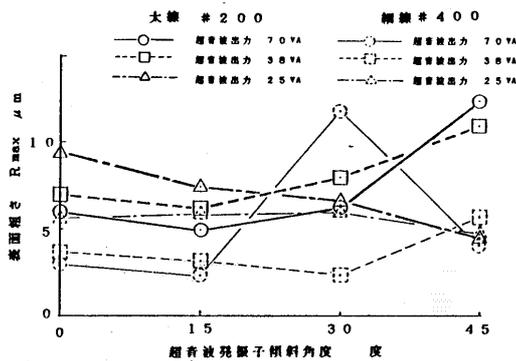


図7 超音波発振子傾斜角と表面粗さ

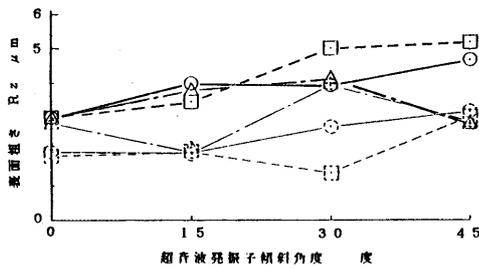


図8 超音波発振子傾斜角と表面粗さ

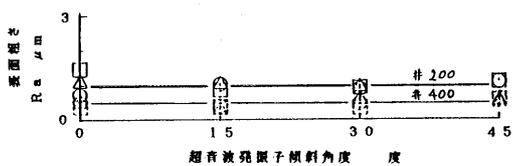


図9 超音波発振子傾斜角と表面粗さ

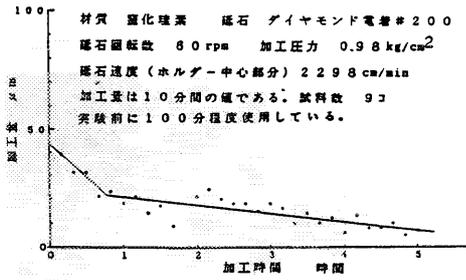


図10 ダイヤモンド電着砥石#200の時間による加工量の変化

波振動を付加すると、加工クラック(加工変質層)が小さくなるので、超音波振動を付加することは非常に有効である。

表面粗さについて考えてみると超音波振動を付加しない場合の  $R_{max}/R_a$  の値は、約9~17くらいであり、金属の加工の場合の約4~5に比べて大きくなっている。これはセラミックスの特徴として勢断強度に比べて引張り強度が小さく、かつほとんど塑性変形せずに脆性破壊するので、加工時の引っ張り応力による割れ破壊も加わって加工が進展する為ではないかと思われる。

ダイヤモンドビトリファイド砥石と、ダイヤモンド電着砥石の加工量、及び表面粗さを比較すると、加工量はダイヤモンド電着砥石のほうが格段に大きく、表面粗さはビトリファイド砥石のほうが良い。また加工するのに必要な最低加工圧力については、ダイヤモンド電着砥石の方が小さい。この原因について考えられるのは、砥石表面の有効に作用する砥粒数・砥粒の先端形状及び砥石全体の硬さの違い等による為であろう。

超音波振動を付加した場合の表面粗さ  $R_{max}/R_a$  の値は、超音波振動を付加しない場合の値に比べて小さくなっている。これは超音波振動を付加したときと、付加しないときの加工機構が異なるためと

われる。

次に電子顕微鏡写真と、表面粗さ曲線を示す。

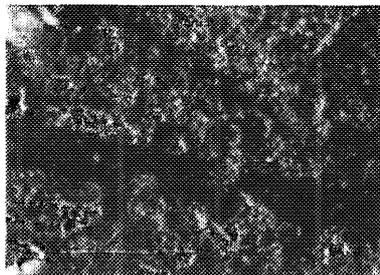


写真1 電着砥石#200  
加工圧力 0.98 kg/cm<sup>2</sup>

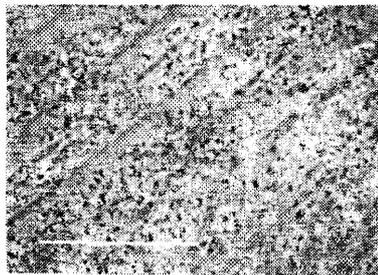


写真2 電着砥石#200 超音波70V A  
傾斜角45° 加工圧力 0.27 kg/cm<sup>2</sup>

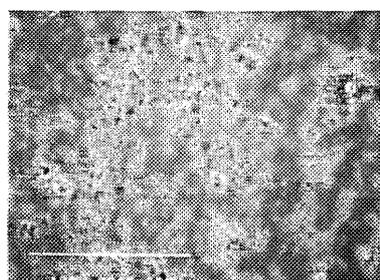


写真3 ビトリファイド砥石#230  
加工圧力 0.98 kg/cm<sup>2</sup>

思

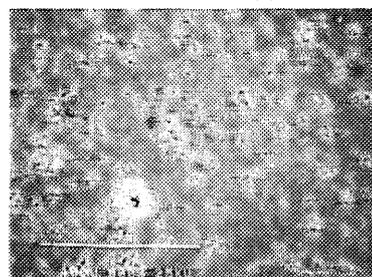


写真4 電着砥石#200 使用時間200分  
加工圧力 0.98 kg/cm<sup>2</sup>

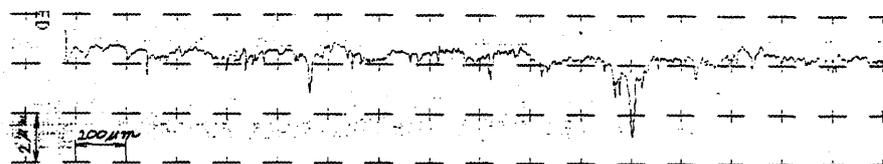


図11 電着砥石#200 加工圧力 0.98 kg/cm<sup>2</sup>



図12 電着砥石#200 超音波70V A 傾斜角30° 加工圧力 0.25 kg/cm<sup>2</sup>

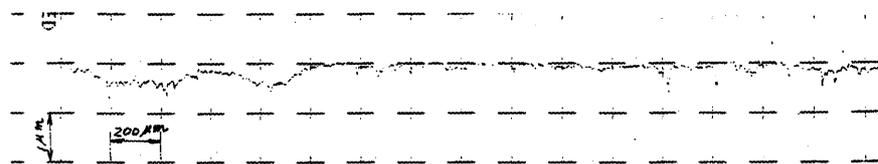


図13 ビトリファイド砥石#230 加工圧力 0.98 kg/cm<sup>2</sup>

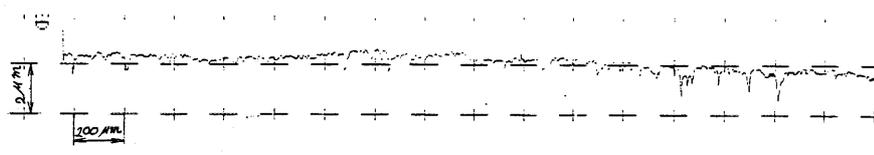


図14 電着砥石#200 使用時間400分 加工圧力0.98kg/cm<sup>2</sup>

これらより、電着砥石#200と超音波振動を付加した場合は割れによる加工が主である。超音波振動を付加しない場合も同様に割れによる加工が主であるが、塑性変形に伴う加工1)が増加している。しかし図11と図12を比較すると超音波振動を付加した場合のほうが、加エクラックは小さいように見える。電着砥石#200を200分間使用したものとピトリファイド砥石#230,#400の場合は、塑性変形に伴う加工が主である。電着砥石#400,#800の場合も同様である。

#### 4. 結 言

- 1)加工量を大きくするには、ピトリファイド砥石より電着砥石を使用して、加工圧力を大きくする。超音波振動を付加すると、さらに加工量が増大する。
- 2)良い表面を得るには、粒径の細かい砥石(特にピトリファイド砥石)を使用するとよい。
- 3)長時間使用した電着砥石を使用しても表面粗さは向上するが、加工変質層が深くなるので、注意を要する。
- 4)超音波振動を付加することは、加工量を増大し、加エクラックを小さくするので、非常に有効である。

#### 5. 謝 辞

今回の3ヶ月に及び実習期間中に終始御指導して頂いた工業技術院機械技術研究所生産工学部機械加工課の岡野啓作氏、堤千里氏ならびに村田課長を始めとする機械加工課の皆様には、深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1)横井ら;セラミックスの超精密加工,ニューセラミックス懇話会編
- 2)岡野ら;ファインセラミックスの加工クラックと研削加工条件,昭和59年度精機学会春季大会  
学術講演会論文集