

硬脆性材料の超精密加工技術に関する研究

機械技術部 ○岩本竜一, 市来浩一*

鹿児島大学 近藤英二, 皮籠石紀雄, 大久保徳之**

(現 *企画情報部, **第一精工(株))

1. はじめに

ダイヤモンド工具による硬脆性材料の超精密加工において、工具切込み量のある臨界量以下で加工すると延性モード加工が可能となることが知られている^{1),2)}。一般に、この臨界切込み量は非常に小さく、延性モード状態を維持することは困難である。しかし、加工機内で加工状態を監視することにより、常に延性モードとなるよう制御できれば、安定した加工が行える。そこで、本研究では、脆性および延性モード加工を加工機内で判別するための有効なパラメータを明らかにすることを目的とし、単結晶シリコンを超精密加工したときの切削抵抗、AE信号と脆性・延性モードとの関係を調べた。

2. 実験装置および方法

実験は、超精密旋盤に単結晶ダイヤモンドのスローアウェイRバイトを取り付け、単結晶シリコンを正面切削した。単結晶シリコンの形状をFig. 1に示す。図中の記号 ϕ は、オリフラからの角度を表す。切削加工時の切削抵抗およびAE信号は、それぞれ切削動力計、AEセンサを用いて計測した。加工後は走査型白色干渉計(以下 ZYGO)で表面粗さを測定した。実験装置をFig. 2に、切削条件をTable. 1に示す。

3. 結果

3. 1 加工面粗さ

工具ノーズ半径2 mm, 工具切込み量 $d = 0.1 \mu\text{m}$, 送り速度 $f = 30 \mu\text{m/rev}$ で切削した場合の加工面および概略図をFig. 3に示す。加工面性状は切削方向によって著しく異なり、方位角 ϕ が 0° , 90° , 180° , 270° の場合(以下方位角 0° と略す)と 45° , 135° , 225° , 315° の場合(以下方位角 45° と略す)とに大別される。前者は梨地面になり後者は虹面あるいは鏡面に近い光沢面になった。Fig. 4にZYGOによる観察結果を示す。方位角 ϕ 0° の場合、不規則な凹凸形状が見られ脆性モード加工がなされたと推定される。一方、方位角 ϕ 45° の場合、送り速度に対応する明確なカッターマークが見られた。Fig. 5に、工具切込み量及び切削速度の違いが表面粗さへ及ぼす影響を示す。工具切込み量 d が $0.1 \mu\text{m}$ の場合は1/4回転周期で脆性面と延性面が交互に現れ、表面粗さも同様の变化を示している。延性面では表面粗さ85nm程度が得られた。しかし、 $d=0.06, 0.08 \mu\text{m}$ の場合、延性面とはならなかった。

次に、工具ノーズ半径5 mm, 送り速度 $f = 47.5 \mu\text{m}$ で同様の実験を行った結果を示す。加工面はいずれも鏡面とはならず梨地面になった。Fig. 6に工具切込み量および切削速度の違いが表面粗さへ及ぼす影響を示す。工具切込み量を変化させた場合、 $d = 0.06 \mu\text{m}$ のとき粗さはやや小さくなったが理論粗さよりはるかに大きい値となり、工具切込み量による変化は小さかった。また方位角 ϕ による違いも見られなかった。切削速度の違いについては、あまり差は見られなかった。

3. 2 切削抵抗およびAE信号

Fig. 7(a)に工具ノーズ半径2 mm, 工具切込み $d = 0.1 \mu\text{m}$, 送り速度 $f = 30 \mu\text{m/rev}$ で切削を行ったときのAE信号と背分力を示す。AE信号は方位角 ϕ が 0° の時に高い値となり、方位角 ϕ が 45° の時に低い値となった。逆に、背分力は方位角 ϕ が 0° の時に低い値となり、方位角 ϕ が 45° の時に高い値となった。この変動は加工面粗さの変化と非常に良く一致している。このことから、加工面が延性

面の場合、つまり延性モード切削がなされる場合、AE信号は小さな振幅になり、逆に背分力は大きな値になると推定される。また、このAE信号と背分力の変化は、1/4回転周期という短時間で交互に現れる脆性面と延性面の変化に時間遅れなく追従しており、監視パラメータとして有効と考えられる。

Fig. 7(b)に工具ノーズ半径5 mm, 工具切込み $d = 0.1 \mu\text{m}$, 送り量 $f = 47.5 \mu\text{m/rev}$ で切削をした場合のAE信号と背分力を示す。AE信号は工具ノーズ半径2 mmの場合の方位角 0° の場合と同等の比較的大きな値を示し、方位角 ϕ の変化による周期性は見られない。背分力は、工具ノーズ半径2 mmの場合よりさらに大きな値を示し、あまり周期性は見られなかった。

4. おわりに

- (1) 表面粗さ(PV値)で85 nmを得ることができ、延性モードによる切削が可能になった。
- (2) 切削速度が0~188 m/minの範囲では、速度が速い方が延性モード切削になりやすい。
- (3) 加工面が延性面になった場合、AE信号の振幅は小さく、逆に背分力方向の切削抵抗は大きい値を示した。脆性面の場合は、逆の傾向を示した。

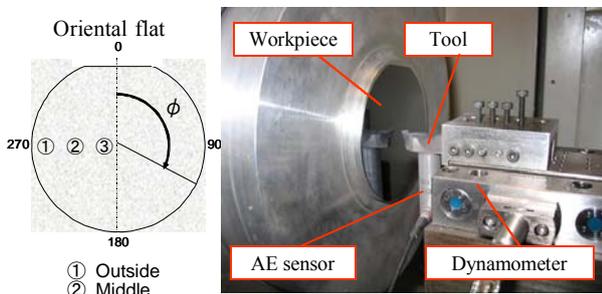
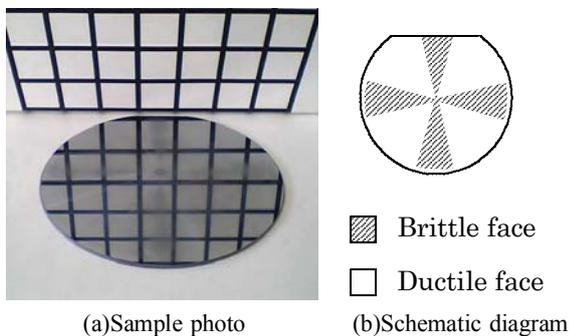


Fig.1 Workpiece

Fig.2 Ultra-precision lathe

Table.1 Cutting conditions

Workpiece	Material	Silicon wafer (100)	
	Diameter mm	76.2	
Tool	Material	Single crystal diamond	
	Nose radius mm	2, 5	
	Rake angle deg	0	
	Clearance angle deg	5	
Depth of cut $d \mu\text{m}$		0.06, 0.08, 0.1	
Feed rate $f \mu\text{m/rev}$		30 (R2)	47.5 (R5)
Spindle speed rpm		1000	
Cutting fluid		Non	



(a) Sample photo

(b) Schematic diagram

Fig.3 Machined surface

参考文献

- 1) 中村格芳, 後藤崇之, 李木経孝; 単結晶シリコンの超精密切削加工におけるクラック発生に及ぼす結晶方位の影響, 精密工学会誌, 69, 12, (2003), 1754
- 2) 閻紀旺, 庄司克雄, 田牧純一ら; 単結晶フッ化カルシウムの超精密切削加工, 精密工学会誌, 70, 1, (2004), pp.106-111

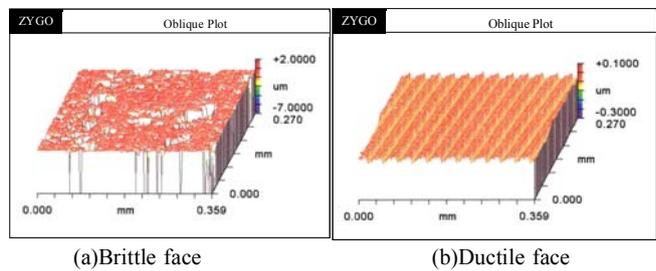
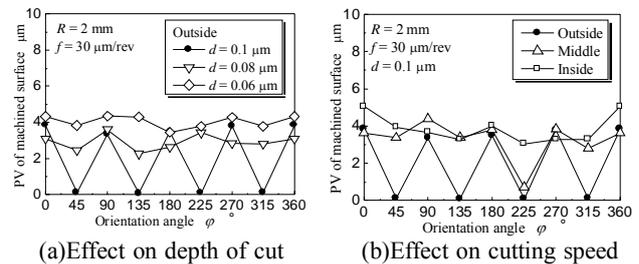


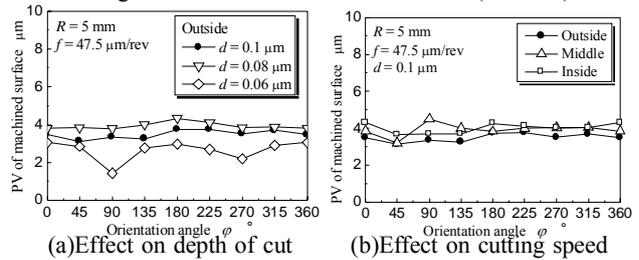
Fig.4 ZYGO image of interferometry



(a) Effect on depth of cut

(b) Effect on cutting speed

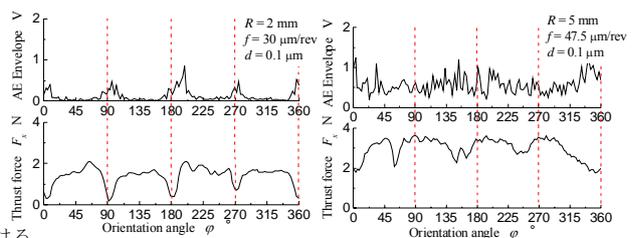
Fig.5 PV-value of machined surface (R=2mm)



(a) Effect on depth of cut

(b) Effect on cutting speed

Fig.6 PV-value of machined surface (R=5mm)



(a) R=2mm

(b) R=5mm

Fig.7 Relationship between AE Envelope amplitude, Thrust force and Oriental Angle phi