

－ 加工面粗さと切削過程のパラメータとの関係 －

Ultra-Precision Cutting of Single Crystal Silicon using Diamond Tool
- Relation between Machined Surface Roughness and Parameters of Cutting Process -

○正 近藤 英二 (鹿大) 正 岩本 竜一 (鹿県工技セ)
 永山 聡女 (JALアビ) 正 皮籠石 紀雄 (鹿大)

Eiji KONDO, Kagoshima University, 1-21-40 Korimoto, Kagoshima
Ryuichi IWAMOTO, Kagoshima Prefectural Institute of Industrial Technology
Satoko NAGAYAMA, JAL Aviation Technology Co. Ltd.
Norio KAWAGOISHI, Kagoshima University

Key Words: Ultra-Precision Cutting, Single Crystal Silicon, Surface Roughness, Monitoring

1. まえがき

ガラスなどの脆性材料の切削加工では、切り厚さをある臨界量以下にすると塑性変形を主体とする材料除去機構が得られ、ピットなどの脆性破壊損傷のない平滑な加工面が創生できる。このような切削加工は延性モード切削と呼ばれ⁽¹⁾⁽²⁾、脆性材料加工の高能率化、高精度化の方法として注目されている。しかしながら、延性モード切削を実現するための条件、つまり脆性モード切削から延性モード切削への遷移に影響する因子は多く⁽³⁾⁽⁴⁾、安定した延性モード切削を行う切削条件の予測は困難である。そこで、適応制御による延性モード切削の安定化に有効な切削加工プロセスの監視パラメータを得ることを目的として、単結晶シリコンを微小チャンファ付R刃ダイヤモンドバイトで超精密切削加工し、加工面の粗さとAE信号、切削抵抗、工具系の振動加速度との関係について調べた。

2. 実験装置および実験方法

表1に実験条件を示す。実験には、被削材として図1に示す直径76.2mm、厚さ6mmの単結晶シリコンを用いた。切削工具には、単結晶シリコンの超精密切削加工用として市販されている、ノーズ半径が2mmで、切れ刃に数 μm 、 -25° の微小チャンファが付いたR刃単結晶ダイヤモンドバイト(アライドマテリアル製)を用いた。被削材は表1

に示した切削条件で、外側から中心に向けて正面切削した。切削中のAEのエンベロープ信号、切削抵抗、振動加速度の測定には、それぞれAEセンサ、切削動力計、加速度センサを用い、図2に示した半径10,15,20,25,30mm(図のA~E)の位置で測定した。図中の記号 ϕ はOrientation flatの方向からの時計方向の回転角である。また旋盤の主軸に回転マークを取り付け、光電スイッチを用い、Orientation flatがバイトの位置になったときにパルス信号を発生させた。測定には2台のパーソナルコンピュータを用い、AEのエンベロープ信号、切削抵抗、パルス信号を10kHzで各100,000個(約170回転分)AD変換した。また振動加速度は、もう一台のパーソナルコンピュータを用い、250kHzで65,000個(約4回転分)AD変換した。加工面粗さは、走査型白色干渉計(ZYGO)を用い、 15° 間隔で測定した。

3. 実験結果と考察

図3は加工面の写真で、加工面はほぼ鏡面になっている。図4は被削材の中心からの距離 r が20mmで、(a)は角度 ϕ が 0° 、(b)は 45° での加工面の詳細写真である。図4(a)の場合、加工面には明確な工具送りマークが見られ、延性モード切削が行われたと推定できる。また図4(b)の場合、目視では加工面は鏡面のように見えたが、多くのピットが生じているため、脆性モード切削が行われたと考えられる。

図5は、図4で示した加工面の3次元粗さのPV値で、

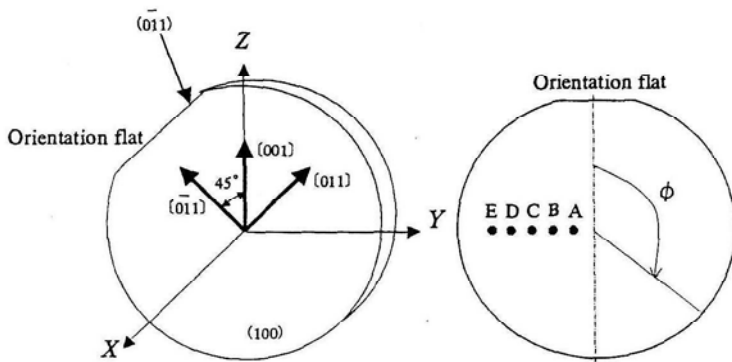


Fig.1 Crystal face and orientation

Fig.2 Measuring points

Table 1 Experimental conditions

Workpiece	Material	Single crystal silicon (100)
	Diameter	76.2 mm
Tool	Material	Single crystal diamond
	Nose radius	2 mm
	Rake angle	0 deg.
	Clearance angle	4 deg.
	Chamfer	1~5 μm (-25°)
Depth of cut d		1.5 μm
Feed rate f		0.5 $\mu\text{m}/\text{rev}$
Spindle speed		1000 rpm
Cutting fluid		None (Dry)

切削速度をパラメータし、角度 ϕ に対して示してある。ここで、被削材は正面切削しており、中心からの距離 r によって切削速度が変わるため、パラメータとして切削速度の大きさを示し、補助的に中心からの距離 r を括弧内に示した。また図の上端には切削方向での結晶方位が示してある。得られた加工面粗さは、切削速度が63 m/min ($r=10$ mm)の場合、角度 ϕ が0, 90, 180, 270°で小さく、45, 135, 225, 315°で大きくなっている。63 m/minの場合に比べ、94 m/min以上では増減の周期性はやや明確でなくなるが、 ϕ によって加工面粗さは変化している。また切削速度が189 m/minの場合、加工面の粗さが小さくなる傾向が見られる。

図6はAEのエンベロップ信号で、図5と同様、切削速度をパラメータとし角度 ϕ に対して示してある。AEの大きさは、一般に切削速度の増加に伴って大きくなるため、切削速度が63 m/minの場合AEは小さく、角度 ϕ による変化は明確でない。しかし、94~157 m/minの場合、加工面粗さと同様、約45°の間隔で増減している。また188 m/minの場合、加工面粗さと同様、AEは小さくなっている。

図7に示した背分力は、図6のAEとは逆になる傾向が見られ、AEが小さい場合、背分力は大きく、AEが大きい場合、背分力は小さくなっている。図8は工具系の振動加速度である。図の横軸は時間で、被削材が一回転する間の振動加速度が示してあるが、Oriental flat に対する同期は取

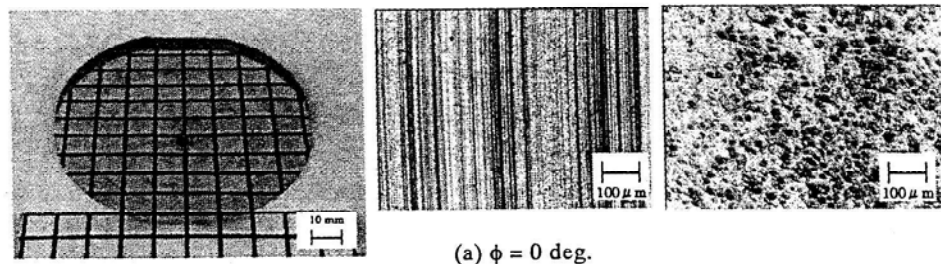
っていない。得られた振動加速度の振幅の増減は小さいため、明確ではないが、図5に示した加工面粗さの変化とほぼ同様な変化が見られる。特に188 m/minで加工面粗さが小さい場合の振動加速度の振幅は、加工面粗さの増減が大きい他の切削速度の場合に比べ、小さくなっている。

4. まとめ

加工面の粗さは、延性モード切削で小さく、脆性モード切削で大きくなった。またAEのエンベロップ信号と振動加速度は、延性モード切削では小さく、脆性モード切削では大きくなる傾向が見られた。また、背分力は逆に、延性モード切削で大きくなる傾向が見られた。

参考文献

- (1) 杉田 忠彰, 他2名:精密工学会誌, 52, 12 (1986), 2138.
- (2) 宮下 政和:精密工学会誌, 56, 5 (1990), 782.
- (3) 柴田 隆行, 他2名:精密工学会誌, 65, 10 (1999), 1512.
- (4) 間 紀旺, 他2名:精密工学会誌, 66, 7 (2000), 1130.



(a) $\phi = 0$ deg.

Fig.3 Photograph of machined surface Fig.4 Photograph of surface in details ($r = 20$ mm)

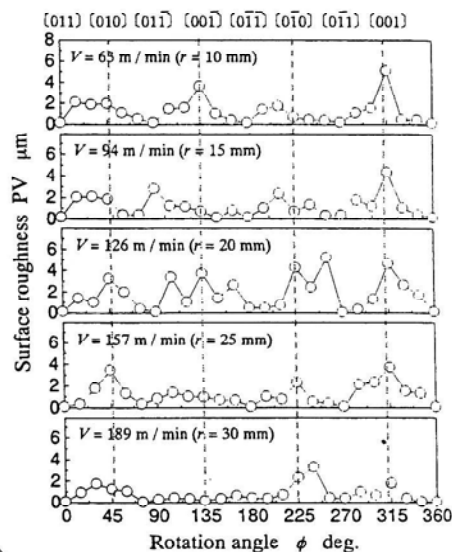


Fig.5 PV of machined surface roughness

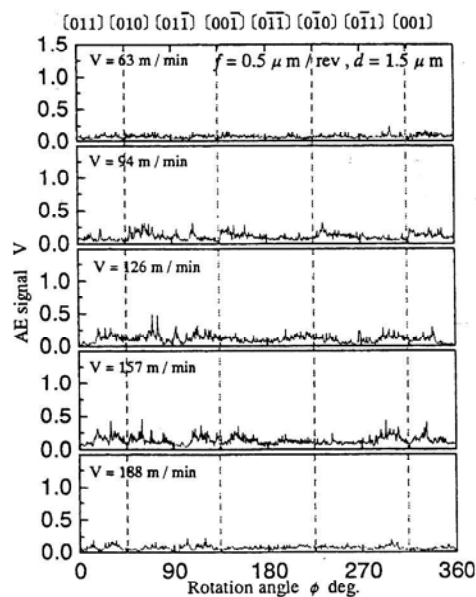


Fig.6 Envelope of AE signals

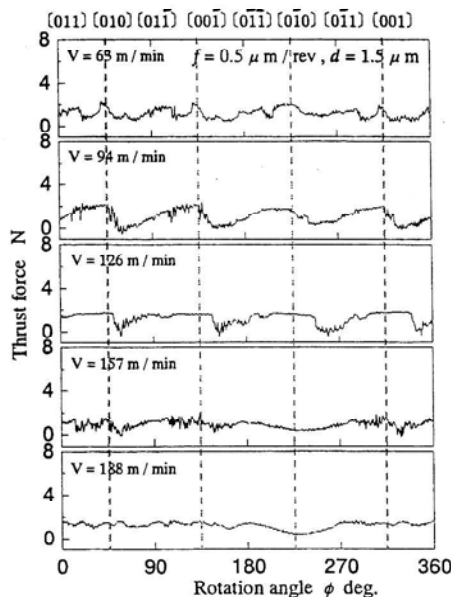


Fig.7 Thrust force

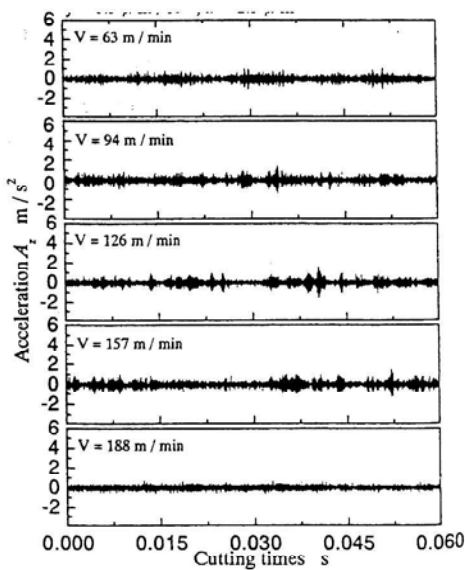


Fig.8 Vibration acceleration