

単結晶シリコンの切削加工に及ぼす切削油剤の影響

鹿児島大学 ○小原 裕也, 近藤 英二, 鹿児島県工業技術センター 岩本 竜一

要 旨

脆性材料の超精密切削加工において、工具切込みをある臨界量以下にすれば、脆性破壊損傷のない平滑な加工面を創生できる延性モード切削が可能である。このような加工法を実用化技術として確立するためには、加工能率の向上が重要であり、工具摩耗が加工精度に及ぼす影響を明確にすることが不可欠である。本研究では、単結晶シリコンを超精密切削加工し、切削油剤、工具送り量の違いによる工具摩耗、加工精度、切削抵抗、AEのエンベロープ信号について調べた。

1. 結言

ガラスやセラミックスなどの脆性材料は、工具切込みをある臨界量以下に保って加工すると塑性変形を主体とする材料除去機構が得られるようになり、その結果ピットなどの脆性破壊損傷のない平滑な加工面を創生できることが確かめられている⁽¹⁾。このような加工法を実用化技術として確立するためには、加工能率の向上が重要であり、工具摩耗が加工精度に及ぼす影響を明確にすることが不可欠である。

そこで、本研究では単結晶シリコンの最適な切削条件を得ることを目的として、単結晶シリコンを超精密切削加工し、切削油剤、工具送り量の違いによる工具摩耗、加工精度（加工面形状、加工面粗さ）、切削抵抗、AEのエンベロープ信号への影響について調べた。

2. 実験装置および実験方法

図1は実験装置で切削には超精密正面旋盤を使用した。表1に実験条件を示す。切削実験では被削材の外側から中心部に向けて工具を送り切削した。切削抵抗およびAEのエンベロープ信号の測定には切削動力計、AEセンサをそれぞれ用いた。なお、被削材の半径8mm以下と32mm以上の部分は前加工で取り除いておき、1回の切削では8~32mmの部分の面を切削するようにした。切削油剤は表2に示す植

物油と灯油を使用した。工具は走査型電子顕微鏡SEMで観察し、加工面形状は形状測定器でオリエンテーションフラットからの回転角 $\phi=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の3方向測定し、高低差の平均値を真直度として算出した。加工面粗さは走査型白色干渉計(ZYGO)で半径10~30mmの5mm間隔の位置で回転角 $\phi=0^\circ$ から360°まで15°間隔で測定した。

3. 工具摩耗

図3はそれぞれの切削油剤で工具送り量が $0.5\mu\text{m}/\text{rev}$ で切削した場合の切れ刃の写真である。灯油を使用した場合、工具には逃げ面に摩耗が見られたが、植物油を使用した場合にはチップングが観察された。これは灯油の動粘度が植物油に比べて大きいため、切りくずの排出性が悪くなりチップングに至ったと考えられる。図4は灯油を使用した場合の工具送り量に対する逃げ面摩耗幅である。逃げ面摩耗幅は工具送り量の増加に伴って小さくなった。

4. 加工精度（加工面形状、加工面粗さ）

図5は切削油剤が灯油で工具送り量が $2.0\mu\text{m}/\text{rev}$ の場合の加工面の写真である。加工面は鏡面となっており、カッターマークが観察された。図6は工具送り量に対する加工面粗さの平均値である。加工面粗さは工具送り量が $0.5\sim 1.0\mu\text{m}/\text{rev}$ の場合、植物油を使用した方が小さくなった。灯油を使用した場合の加工面粗さは、 $2.0\mu\text{m}/\text{rev}$ で極小値となった。これは工具送り量が小さい場合では工具が大きく摩耗し、逆に工

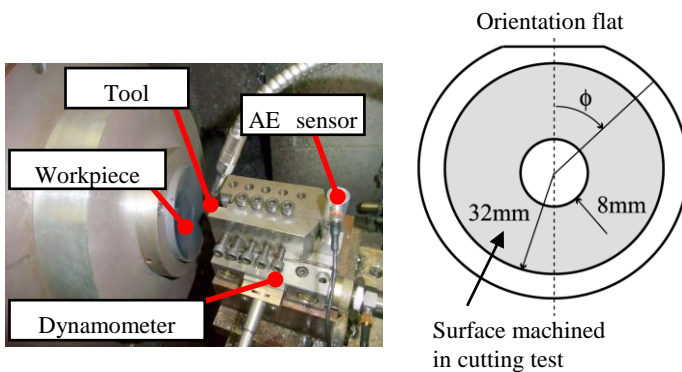
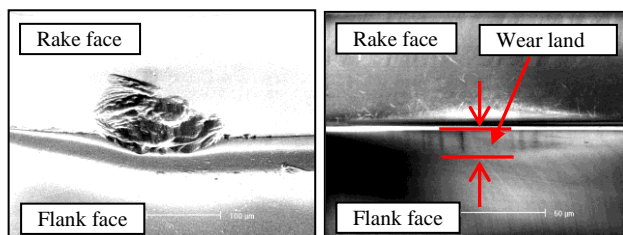


Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Workpiece



(a) Plant oil

(b) Kerosene

Fig.3 Photographs of cutting edge ($f=0.5\mu\text{m}/\text{rev}$)

Table1 Experimental condition

Workpiece	Material	Single crystal Silicon (100)	
	Diameter mm	76.2	
	Thickness mm	6	
Tool	Material	Single crystal diamond	
	Nose radius mm	2	
	Rake angle deg.	0	
	Clearance angle deg.	4	
	Chamfer μm	2 (-45deg)	
Spindle speed rpm		1000	
Depth of cut d μm		1	
Feed rate f $\mu\text{m}/\text{rev}$		0.5, 1	0.5~8.0
Cutting fluid		Plant oil	Kerosene

Table2 Property of cutting fluids

	Plant oil	Kerosene
Density g/cm^3	0.92	0.80
Kinematic viscosity mm^2/s	41.80	2.78
Surface tension mN/m	32.82	27.68

具送り量が大きくなると切り取り厚さが大きくなるためだと考えられる。図 7 は工具送り量に対する真直度である。真直度は灯油を使用した場合、工具送り量の増加に伴って小さくなった。一方、植物油を使用した場合の真直度は灯油の場合に比べ、大きくなる傾向が見られた。これは植物油を使用した場合、工具のチップングが大きく、刃先が後退したためだと考えられる。図 8 は灯油を使用した場合の逃げ面摩耗幅に対する真直度で、逃げ面摩耗幅が大きくなることで刃先が後退し、平面度が大きくなると仮定した場合の関係を実線で示している。逃げ面摩耗幅に対する真直度は直線に近い値になっていることから真直度が大きくなる主な原因は工具の摩耗によるものだと考えられる。

5. 切削抵抗, AE のエンベロープ信号

図 9 は工具送り量に対する背分力の平均値である。背分力は灯油の場合、植物油の場合に比べて小さくなり、工具送り量の増加に伴って小さくなった。図 10 は工具摩耗の影響が小さい半径 30mm での工具送り量に対する主分力の平均値で背分力と同様、灯油のほうが小さくなった。このことから灯油を使用した場合、工具にチップングが生じなかったのも、この切削抵抗の低減によるものだと考えられる。

図 11 は工具り量に対する AE のエンベロープ信号の平均値である。植物油を使用した場合の AE は灯油の場合に比べ、小さくなった。切削油剤が灯油の場合、AE は工具送り量の増加に伴って小さくなり、工具送り量が 2.0 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 以上で緩やかに増加しており、加工面粗さと変化の傾向がほぼ一致していた。

6. まとめ

- (1) 植物油を使用した場合、工具にはチップングを生じたが、灯油ではチップングは生じず、逃げ面に機械的摩耗が見られた。一方、切削抵抗の主分力は灯油よりも植物油のほうが大きく、チップングの原因になったと推定された。
- (2) 灯油を使用した場合、加工面粗さは工具送り量が 2.0 $\mu\text{m}/\text{rev}$ で極小値となり、0.086 μm であった。一方、AE のエンベロープ信号は、工具送り量の増加に対する変化の傾向が加工面粗さとほぼ一致していた。

参考文献

- 1) 杉田忠彰, 他 2 名: 硬ぜい材料のマイクロ切削における塑性変形型材料除去の可能性; 精密工学会誌, 52, 12 (1986), 2138.

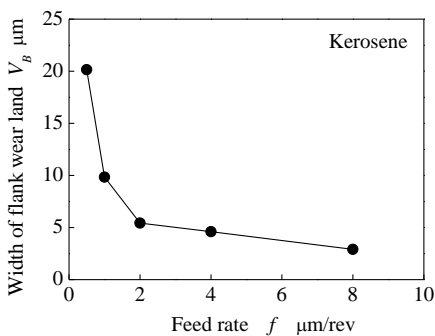
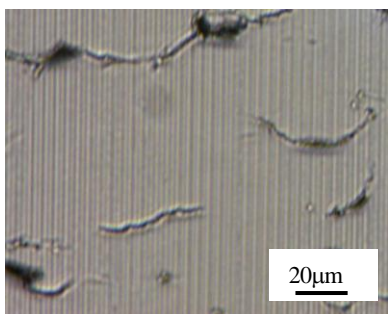


Fig.4 Width of flank wear land



(a) Appearance of machined surface



(b) Detail of machined surface

Fig.5 Photographs of machined surface (Kerosene, $f=2.0\mu\text{m}/\text{rev}$)

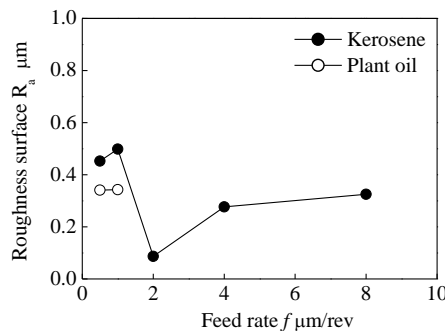


Fig.6 Mean value of surface roughness

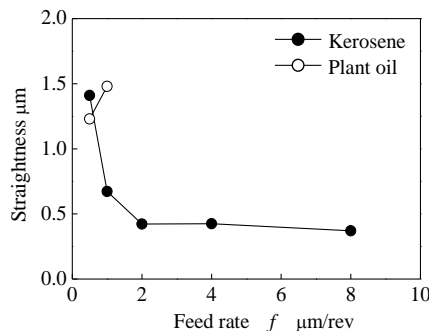


Fig.7 Straightness

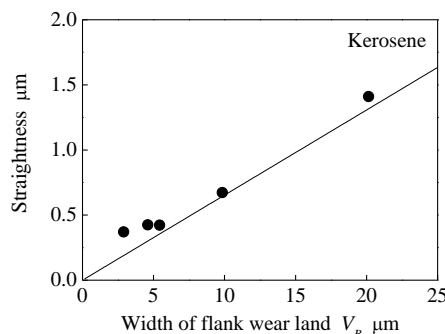


Fig.8 Relationship between straightness and width of flank wear land

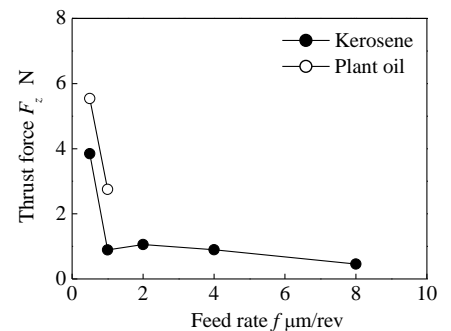


Fig.9 Mean value of thrust force

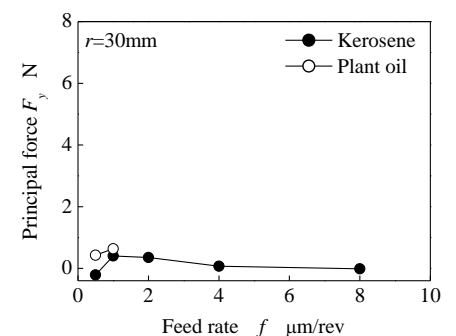


Fig.10 Mean value of principal force

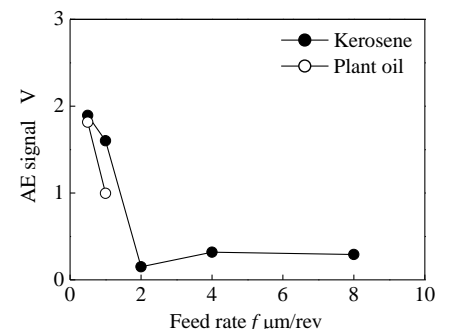


Fig.11 Mean value of AE signal