

論文

ダイヤモンド工具によるマイクロ流路の延性モード加工

森 俊道^{*1)} 岡崎祐一^{*2)} 阿部勝幸^{*3)}

Ductility mode processing of a micro style path using diamond tool

Toshimichi MORI, Yuuchi OKAZAKI, Katuyuki ABE

Various processing conditions and processing characteristics of diamond detailed milling processing over brittle materials centering on silica glass are clarified for the purpose of the establishment of detailed machining technology used to form a detailed style path network on brittle materials which are required for the realization of micro devices used for DNA chips and microchemistry compositions. An immense market is expected to develop in the near future targeting sensors for environmental measurement / analysis, and medical treatments etc.

Keywords ductile mode, brittle material, single point daiamond, silica glass

1. はじめに

近年, 数 cm 四方のプラスチックやガラスチップの上に μm オーダーの微細な流路を作り, その微細流路を分析場・反応場とするマイクロチャネルチップが注目されている。このシステムは「DNA チップ」や「マイクロ化学合成」, 「各種環境測定用・分析用センサ」, 「医療用マイクロデバイス」として期待されている。

現在リソグラフィ技術で作られているが, 反応面の白濁, 材料の劣化などが発生している。また, 研削による加工も行われているが, ダイヤモンド砥粒の形状精度が低いため, 加工精度, 成形形状に限界がある。

本研究では, 切削性に優れた単結晶ダイヤモンド工具を用いて石英ガラスの表面に微細流路のネットワークを作成し, 石英の光学的特性と単結晶ダイヤモンドの切削特性を生かしたマイクロ流量システムの加工技術を開発することを目的としている。

実験では, はじめに, スライドガラスを供試して電着砥粒エンドミルなどによる微細溝加工試験を行い, 加工溝の切削面の性状, 工具の損傷などについて調べた。つぎにこれらの結果に基づいて, 石英ガラスを供試し単結晶ダイヤモンドエンドミルによる微細溝加工を実施した。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に示す卓上型高速ミ-リングマシンを用いてガラス

の加工実験を実施した。本装置は, 最高回転速度 300,000rpm の AC モータ主軸と分解能 50nm の直交 3 軸のスライド機構をもったコンパクトな NC ミリング加工機である。



図1 卓上型高速ミ-リングマシン

2.2 試験片と加工工具

被削材はスライドガラスと合成石英ガラス(硼珪酸ガラス)の2種類で, その試験片の寸法是一片 30mm の方形で, 厚さ 3mm である。試験片は図2に示すように真空チャックで送り台に取りつけた。

工具には直径 0.2mm の電着砥粒エンドミルと直径 0.25mm のダイヤモンドエンドミルを用いた。前者は#100 のダイヤモンド砥粒を超硬シャンクに静電接着したもの, 後者は単結晶ダイヤモンドを超硬シャンクにロウ付けしたもので, 刃のすくい角は -63 度, -54 度である。

*1) 産業技術研究所 *2) (独)産業総合技術研究所

*3) マイクロ・ダイヤモンド(株)

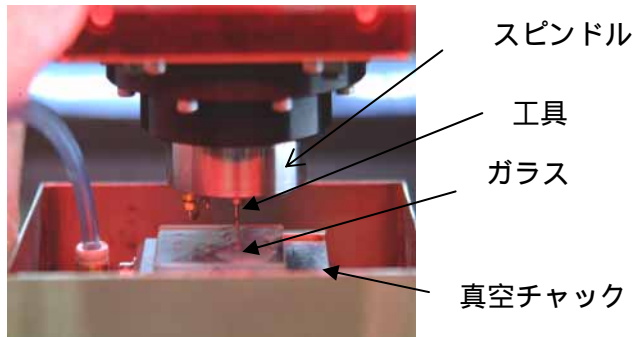


図2 試験片の取り付け状況

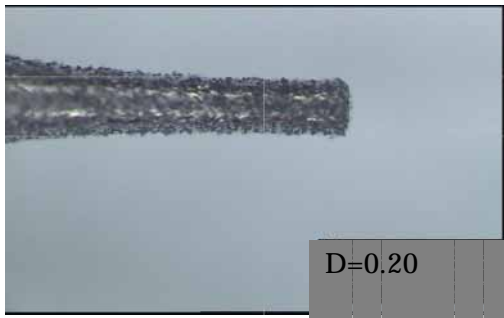


図3 電着砥粒エンドミル

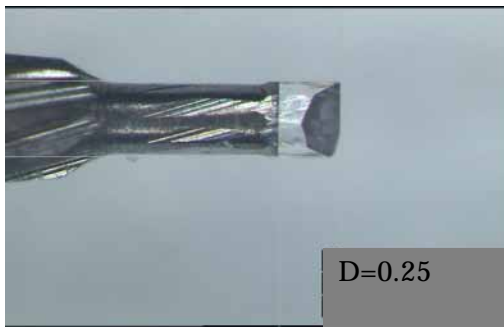


図4 単結晶ダイヤモンドエンドミル

2.3 加工方法と切削面の評価

工具の位置決めは工具を回転させながらスピンドルをZ方向に1 μmづつ下げ、ガラス端面に接触するのをカメラモニターで観察し、そこをZ方向の加工開始点とした。

加工に際しては工具は工作物より-Y方向にはずれた位置を開始点とし、工具降下時に工作物と接触しないように設定にした。図5に加工動作を示す。

工具のZ方向の位置決め地点より+1 μmの位置から切込み深さだけ工具を下げ、+Y方向に2.0mm程度送る。これを1パスとし、次のパスではさらにZ方向に所定の切込み深さだけ工具を下げ、+Y方向に2.0mm程度送る。この動作を1 μmの溝深さになるまで繰り返した。

実験では、エンドミル回転数を100,000rpmに一定とし、軸方向切り込み、送り速度を種々変化させた。潤滑方式は水塗布およびオイル塗布とした。その切削条件を表1に示す。

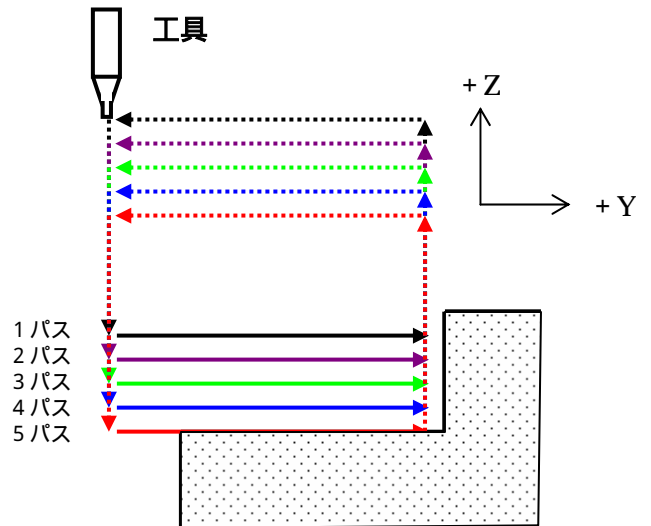


図5 加工動作

表1 切削条件

被削材	工具	パス回数	軸方向切込み(μm)	送り速度(mm/s)	潤滑
スライドガラス	電着砥粒	10	0.1	0.1	水塗布
		5	0.2	0.1	
		3	0.3	0.1	
		2	0.5	0.1	
		20	0.1	0.1	
		50	0.1	0.1	
		10	0.1	0.5	
		10	0.1	1.0	
	10	0.1	2.0		
		単結晶ダイヤモンド	10	0.1	0.1
		20	0.1	0.1	
石英ガラス	結晶単ダイヤモンド	10	0.1	1.0	水塗布
		10	0.1	1.0	オイル
		10	0.1	0.02	水塗布

溝加工後、切削面の性状を微分干渉顕微鏡で観察し、また表面粗さを非接触型の光干渉方式3次元表面形状粗さ計で測定し、切削性を評価した。

3. 実験結果と考察

3.1 スライドガラスの溝加工

エンドミルによる溝加工では、周刃が材料の溝幅を削り取って溝の側面を形成し、端面の刃が溝の底面を削り取る。この場合、図6のように周刃先の1回転の切削において刃先の切込みの大きな部分(最大切込み量f)では脆性破壊も考えられるが、溝の側面に切削面を形成する(ツールマークを形成する)時点での切込みt₀は次式から計算されるようにごく微小であるから切削面には破壊は発生しないと考えられ

る。

$$t_0 = f^2 / D \cdot 10^3$$

f は 1 刃あたりの最大切込み量 μm 、D は刃先の回転直径 mm である。本実験条件では $D=0.20\text{mm}$ 、最大送り速度 2.0mm/sec 、 $f=1.2\mu\text{m}$ のとき、 $t_0=7.2 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ に過ぎず、その切削機構は複雑であるが、延性モード切削面を得る事ができると考えられる。

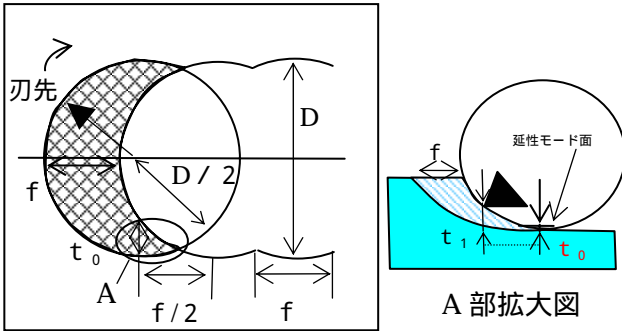
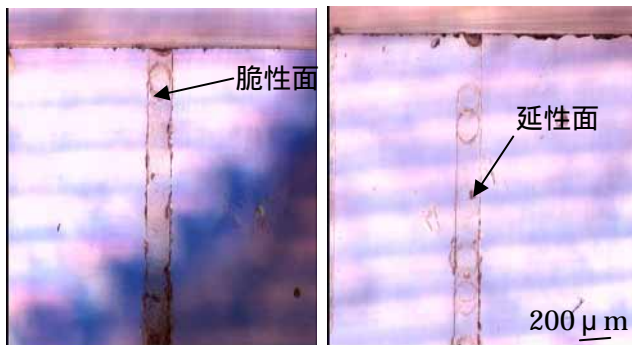


図6 エンドミルの切削

実験で得られた電着砥粒エンドミルによるスライドガラス切削面の1例を図7に示す。同図のように、切削面はともに延性 - 脆性モード混合面となっている。これは、切削中に砥粒の正常な切刃顕出作用が行なわれずに脱着し、シャンクが切削面を擦ったためと考えられる。

また実験では軸方向切込みを $0.1 \sim 0.5\mu\text{m}$ 、送りを $0.1 \sim 2.0\text{mm/s}$ に変えて切削面を観察したが、両因子による明確な影響は認められなかった



送り速度 0.5mm/sec 送り速度 2.0mm/sec
図7 電着砥粒エンドミルによるスライドガラスの切削

図8、図9に、電着砥粒エンドミルと単結晶ダイヤモンド切削の溝底面を比較して示す。両者とも延性 - 脆性モード混合面であるが、前者では砥粒脱落による擦過傷が見られるのに対し、後者では切削面の状態になめらかな均一性が見られる。

3.2 石英ガラスの溝加工

3.2.1 切削液の影響

単結晶ダイヤモンドエンドミルを用い、送り速度 1.0mm/sec 、軸方向切込み $0.1\mu\text{m}$ で石英ガラスの溝加工

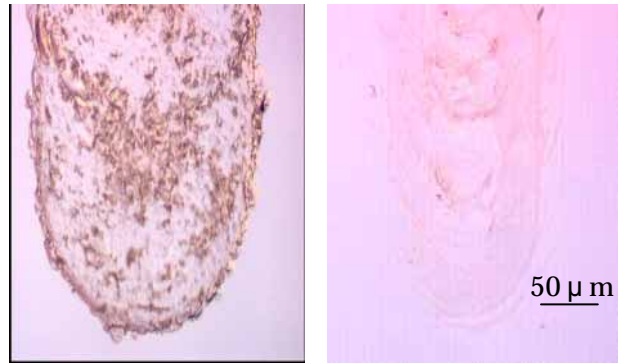


図8 電着砥石による溝加工 図9 Dエンドミルによる溝加工

を行なった。ガラス表面には切削液に水、あるいはスクワランオイルを塗布した。その切削面を図10、図11に示す。

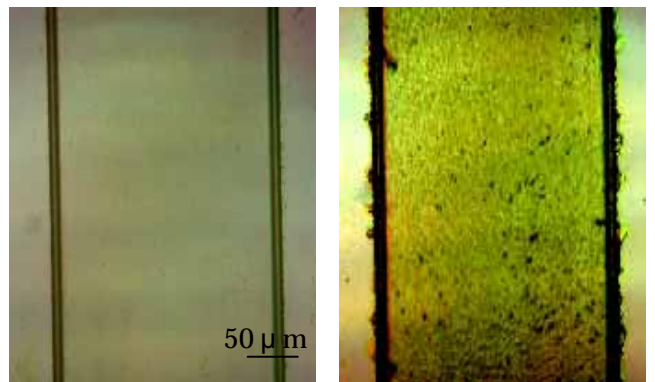


図10 水塗布による加工 図11 オイル塗布による加工

面の状態は、オイル塗布のほうが水塗布より亀裂が多く入っているのが確認された。

密着性の高いオイルのほうが加工方向前面にクラックが生じた場合、クラック内部に液が浸透し、微小亀裂に液が吸着、その吸着作用により脆性損傷の進行を抑える効果が大きいと思われたが、粘性が高いために切りくずの排出性が悪くなり、かえって表面を荒らしたと考えられる。

3.3.2 微細送り加工

石英にダイヤモンドエンドミルを用いて、送り速度 0.02mm/sec という非常に遅い速度で溝加工を行った。その結果を図12に示す。またそのSEM写真を図13に示す。

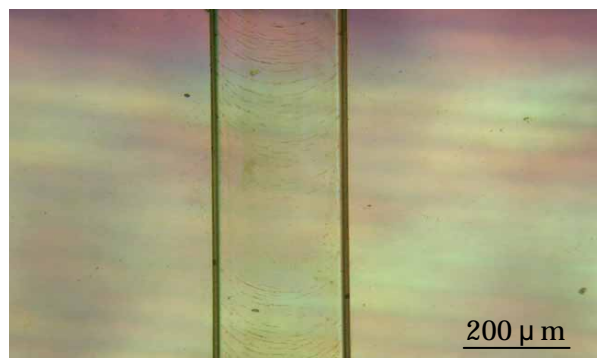


図12 微細送りによる石英ガラスの切削面

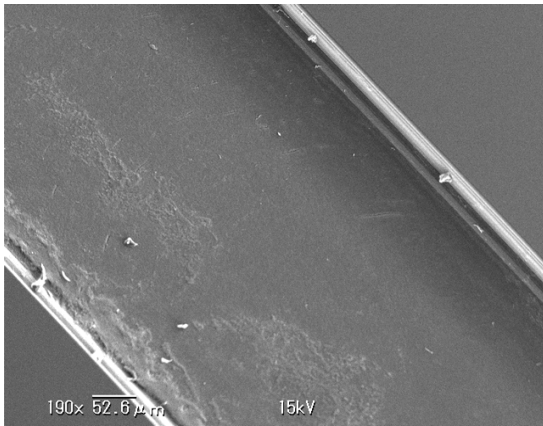


図13 図12切削面のSEM写真

観察面は延性モード切削面となっているのが確認できる。しかし、この面を非接触の光干渉方式3次元表面形状粗さ計で測定したものを図14に示す。これより、切削時の圧縮、

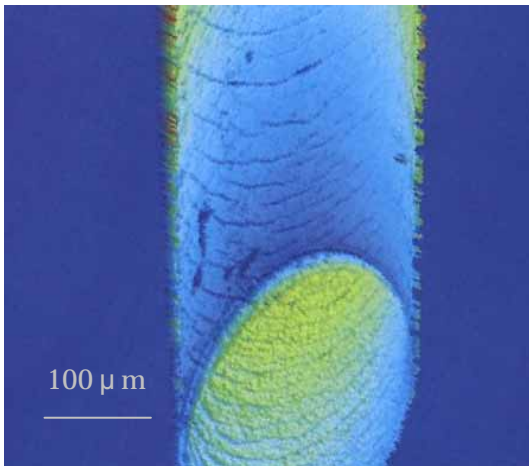


図14 光干渉方式による石英切削面の形状観察図

圧縮開放後の破損が発生しているのが観察できる。すなわち、一般に図12のような切削面を延性モードと呼んでいるが、さらに微視的に観察すると、実際には圧縮破損を含んだ面となっている。これは図15に示すようにエンドミル刃の負のすくい角が45度より大きい角度をとっているため過大な圧縮を行っているためであると考えられる²⁾。

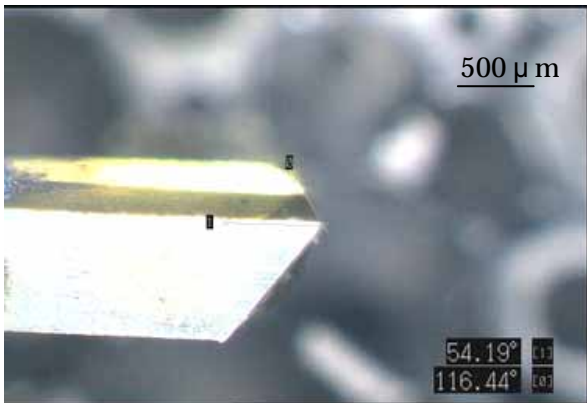


図15 刃先

これらの微細な破壊を防止するためには今後更なる工具の改善が必要と考えられる。

4.まとめ

電着砥粒、単結晶ダイヤモンドエンドミルを用い、スライドガラス、石英の溝加工実験を行い、その加工面形状、工具の状態について調べた。

得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- (1)電着砥粒エンドミルは、単結晶ダイヤモンドエンドミルより安価であるが、切削中に正常な切刃の顕出作用が行なわれずに脱落するものがあるため、切削面にシャンクによる擦過傷が発生し、ガラスの延性モード切削には適さない。
- (2)単結晶ダイヤモンドエンドミルの湿式加工には、粘性の高い液は切削面に悪影響を及ぼす。むしろ切削液としては水が適している。
- (3)単結晶ダイヤモンドエンドミルによる石英ガラスの溝加工(水塗布)では、送り速度0.02mm/sec(最大切込み12nm)で、延性モード切削面を得ることができる。しかし刃のすくい角が-54度では切削面に破壊傷が見られる。
- (4)マクロ的には延性モード切削面でも、光干渉表面形状粗さ計によれば圧縮解放にともなうマイクロクラックが発生していた。

謝辞

本実験に協力を頂いた山形県工業技術センターの高橋 俊広 専門研究員に感謝申し上げます。

参考文献

- 1)小倉一郎:シングルポイントダイヤモンド旋削による光学ガラスの延性モード切削加工に関する研究 研究精密工学会誌, 66, 9 (2000).
- 2) 閻紀旺, 鈴木浩文, 庄司克雄, 厨川常元:単結晶 Si のダイヤモンド切削に関する研究 - 工具すくい角の影響, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (1997).
- 3) 閻紀旺, 庄司克雄, 厨川常元:大きな負のすくい角工具による延性・ぜい性遷移, 精密工学会誌, 66, 7, (2000).
- 4)大野威徳, 松村 隆:ガラスのエンドミル加工によるマイクロチャネルの製造, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2004).

(原稿受付 平成16年8月6日)