

# 石英ガラスの延性モード加工における塑性変形挙動の解明

北見工大 ○川崎 真, 田牧 純一, 久保 明彦, 杉野 豪

## 要 旨

単粒ダイヤモンド切れ刃を用いて硬脆材料である石英ガラスのフライカット実験を行い、加工痕形状から延性モード加工時の盛上がり量を測定することにより塑性変形挙動を解明した。また同様の実験を延性材料である銅でも行い、両者の違いを比較した。

## 1. 緒 言

近年、光学製品のコンパクト化や需要拡大に伴い、光学部品の加工を高効率、高精度化することが求められている。石英ガラスのような硬脆材料は脆性破壊を起こしやすい難削材であり、超精密加工を行う場合は延性モード加工から脆性モード加工へ移行する臨界切込み量以下での加工が求められる。硬脆材料の臨界切込み量については数多く報告されているが、延性モード加工時の塑性変形挙動についての研究は少ない。

本報告では、単結晶ダイヤモンド工具を用いて石英ガラスの単粒フライカット実験を行い、延性モード加工時の切削痕の観察と塑性変形挙動を検討した。また、延性材料である銅を用いて同様の実験を行い、両者の塑性変形挙動を比較した。

## 2. 実験方法

実験には空気静圧スピンドルを搭載した精密平面研削盤を使用した。図1に実験装置の概略図を示す。工作物である石英ガラス、銅をアルミニウム試料台にワックスで固定し、試料台を1軸テーブルに対して微小角度 $\theta$ だけ傾けるために1軸テーブルとアルミニウム試料台の間にフィラーゲージを挿入した。切削工具として単結晶ダイヤモンドビッカース圧子を使用し、ビッカース圧子の錐面が切削方向と一致するように留意して直径150mmのアルミニウム円板に固定した。フライカット実験では、アルミニウム円板を3000rpmで回転させ、1軸テーブルを主軸回転軸方向に移動することにより工作物を切削した。このような運動を工作物に与えることにより、分離した切削痕を得ることができる。なお、切削痕の間隔を500 $\mu\text{m}$ に設定するため、1軸テーブルの送り速度を $f=2500\text{ mm/s}$ に設定した。その他の実験条件を表1に示す。切削後の切削痕の観察には走査型電子顕微鏡(SEM)を用い、溝形状は非接触3次元測定装置(三鷹光器製)と微小段差測定器(Taylor Hobson製)で測定した。

さて、切削工具は工作物に対して図2に示す軌跡を描き、切削痕の溝の長さ $L$ は切削工具の切込み量 $t$ によって変化する。このような切削過程において溝深さ $d$ は徐々に増加して最大値(=切込み量 $t$ )に達し、その後減少していき切削を終了する。切込み開始側の現象は研削加工における上向き研削(up-cut)に対応し、切込み終了側の現象は下向き研削(down-cut)に対応する。本報告では、前者をcut-in、後者をcut-outと定義した。

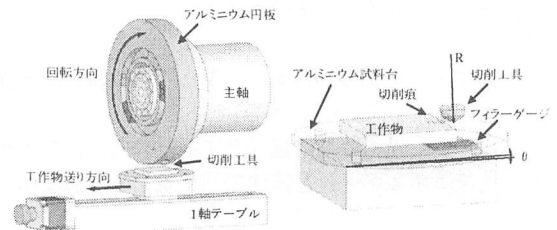


図1 実験装置

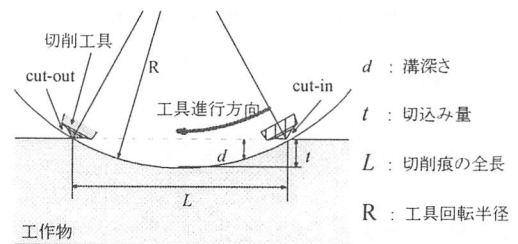


図2 フライカットモデル

表1 実験条件

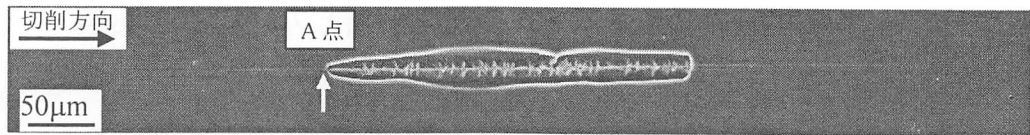
使用機械	空気静圧スピンドル搭載平面研削盤 (OKAMOTO PSG-52DX)
切削工具	ビッカース型ダイヤモンド圧子 圧子形状 正四角錐, 対稜角 $148 \pm 10^\circ$ 対面角 $136^\circ$ , すくい角 $68^\circ$
工作物	石英ガラス, 銅
切削条件	切削方式 フライカット 工具回転数 $N = 3000\text{ rpm}$ 送り速度 $f = 2500\text{ mm/s}$ 切削油剤 白灯油

削(down-cut)に対応する。本報告では、前者をcut-in、後者をcut-outと定義した。

## 3. 実験結果

図3, 図4に、切削痕のSEM写真と3次元形状を示す。いずれの場合も、切削工具は左側から右側へ移動している。

図3に示す石英ガラスの場合、切込み開始から延性モード加工が行われ、その後図中A点より脆性破壊領域へと移



(a) SEM 写真

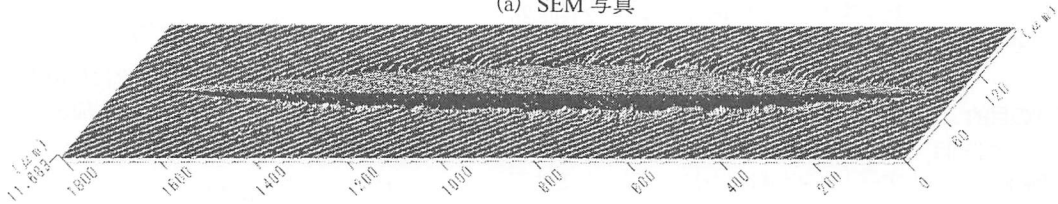


(b) 3次元形状

図3 石英ガラスの切削痕のSEM写真と3次元形状



(a) SEM 写真



(b) 3次元形状

図4 銅の切削痕のSEM写真と3次元形状

行し、脆性破壊によって溝に割れが生じる。その後、再度延性モード加工に移行し、それから加工が終了する。

一方、図4に示す銅の場合、全体を通して延性モード加工が行われている。

本報告では、工作物の塑性変形挙動を評価するために、切削溝の側面に形成される盛

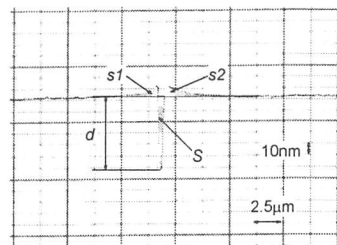
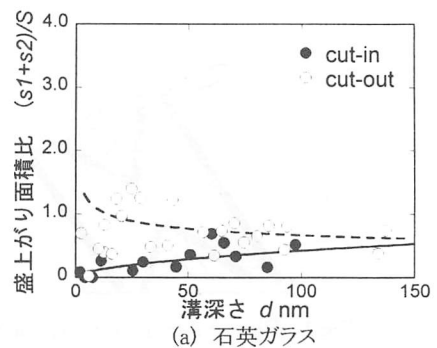


図5 溝断面形状

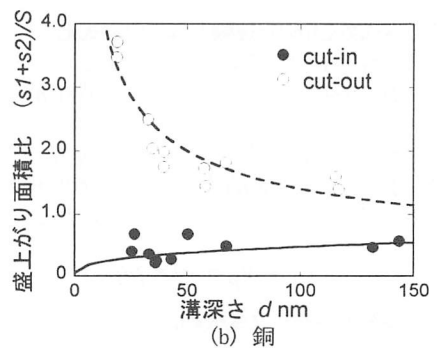
上がりの面積  $s1$ ,  $s2$  に対する切削溝の面積  $S$  の比を算出し、盛上がり面積比  $(s1+s2)/S$  を定義した(図5)。図6に盛上がり面積比をプロットした結果を示す。石英ガラス、銅とも同様の傾向を示し、cut-in では溝深さが大きくなるにつれて盛上がり面積比が大きくなり、cut-out では逆に溝深さが小さくなるにつれ盛上がり面積比が大きくなる。また、石英ガラスと銅を比較すると cut-in では、大きな差異が見られないが、cut-out では、溝深さの増加に対する盛上がり面積比の減少率が銅の方がより大きいことがわかる。

#### 4. 結 言

延性モード加工領域における石英ガラスの塑性的挙動を銅と比較した結果、盛上がり率に違いのあることがわかった。



(a) 石英ガラス



(b) 銅

図6 溝深さと盛上がり面積比の関係