

AE法を用いた超精密旋盤加工におけるガラス切削状態のインプロセス計測

埼玉工業大学 ○石田翔梧, ◎長谷亜蘭

要旨

近年、様々な製品が小型化されているが、その加工を行う工作機械自体はまだ大型のものが多く、そのため、小さな部品を加工するには効率が悪く、加工精度の向上も難しいという問題点が挙げられる。そこで本研究では、切削加工中に発生するアコースティックエミッション (AE) 信号を計測し、加工状態のインプロセス計測のための相関関係について検討を行う。今回は、ガラス材料を対象として、工具や被削材の状態とAE信号の関係を明らかにし、切削状態悪化の予兆を察知することを目的としている。

1. 緒言

ガラス材料は脆性材料であるため、加工条件の選定および加工状態の監視がとて重要になる。たとえ精密な加工が行われたとしても、微視的な加工状態の変化によって、加工品位や作業効率が低下してしまう場合がある。そこで本研究では、切削加工中に発生するアコースティックエミッション (AE: 材料の変形・破壊時に生じる弾性応力波) 信号を計測し、ガラス材料の切削状態のインプロセス計測のための相関関係について検討を行う。ここでは、工具や被削材の材種、切込み量の違いによる変化について実験調査を行う。さらに、得られた結果から、ガラス材料の延性モードでの切削状態を維持するためのAEインプロセス計測の可能性についても検討する。

2. 実験方法および実験条件

AEは、固体が変形・破壊する際に蓄えられていたひずみエネルギーが解放され、放出される弾性応力波のことである。材料の内部で変形・破壊が生じた際に検出される。このAEを用いて加工状態の認識に応用することが可能である。今回は、ガラス材料を対象として、工具や被削材の状態とAE信号の関係を実験調査する。

図1は、本研究で用いた実験装置の構成図である。CNC旋盤を専用のコントローラに接続することによりPCから制御することが可能である。AEセンサ (広帯域型、周波数特性: 500 kHz ~ 4 MHz) は、工具シャンク後方に治具を使用して取り付け付けた。AEセンサからの出力信号をプリアンプとディスクリミネータで60dB増幅した。また、加工現象に関係しないノイズ信号を除去する目的で、ディスクリミネータにより50 kHzのハイパスフィルタ処理を行った。さらに、このAE信号を高速波形デジタイザによりPCに取り込み、AE信号波形を計測した。これらの処理を行うことで、PC上にAE信号の波形を表示させることができる。

本研究の実験条件を表1に示す。ガラス材料 (直径5 mm) を切削する際の推奨条件から、送り速度を330 mm/min、主軸回転数を2200 rpmに設定した。本実験では、AE信号と加工現象の相関を検討するため、10回の旋削ごとに工具刃先と被削

材の加工表面、切りくずの状態を光学顕微鏡により観察した。また、AE信号源波形だけでなくAE平均値電圧信号の計測も同時に行った。さらに、切削前の工具の状態と切削を40回行った後の工具の状態を観察することにより加工状態の比較を行った。ダイヤモンド工具はガラスと相性が悪く摩耗しやすいため、主にCBN工具を使用した。ダイヤモンド工具では、ガラス材料のみの切削実験を行った。CBN工具では、ガラス材料とアルミニウム合金を使用した切削実験を行った。切込み量は、1 μm、0.1 μmで比較実験を行った。

表1 実験条件

AE sensor	Wideband type (AE-900M-WB)
Frequency characteristic (MHz)	0.5~4
AE amplification factor (dB)	60
High-pass filter (kHz)	50
Cutting tool	Single crystal diamond CBN
Work material	Quartz glass Aluminum
Feed speed (mm/min)	330
Main shaft rotation speed (rpm)	2200
Cutting depth (μm)	0.1, 1

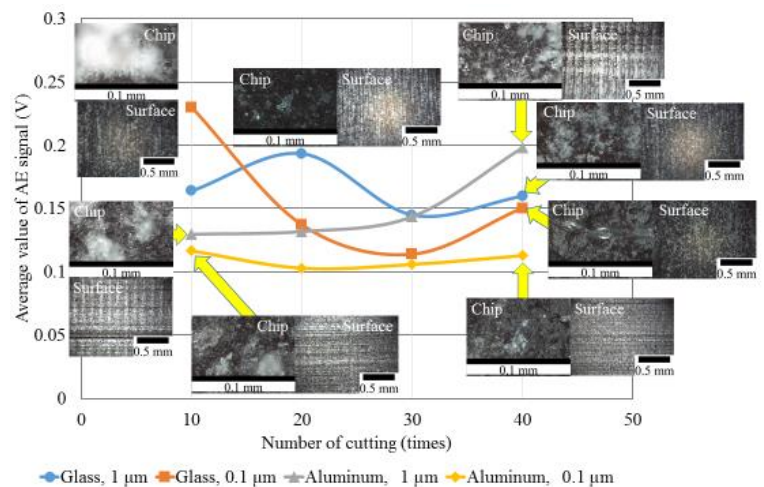


図2 CBN工具における被削材種違いのAE信号レベルおよび切削状態 (切りくず, 加工面) の比較

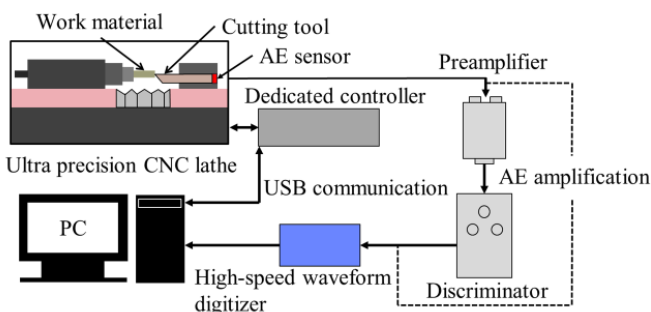


図1 実験装置の構成図

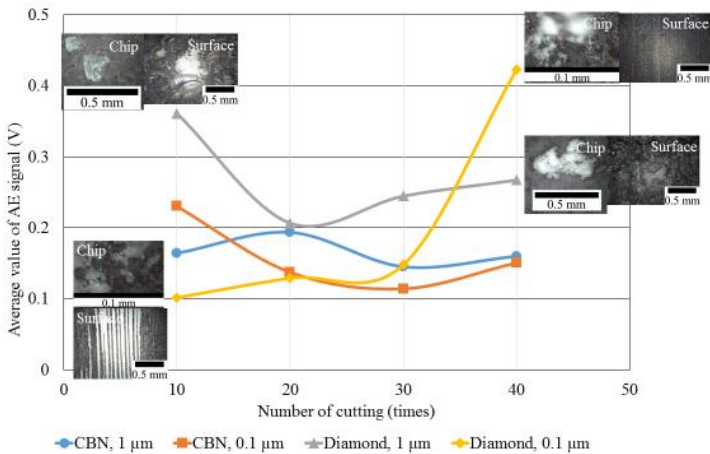


図3 ガラス材料における工具材種違いのAE信号レベルおよび切削状態(切りくず, 加工面)の比較

3. 実験結果および考察

図2と図3は, 本実験で計測されたAE信号レベル(振幅値の平均値)をまとめたグラフである. 図中の写真は, 切削回数ごとに光学顕微鏡により観察した切りくずと被削材加工面の状態の一部である. 左の写真が切りくず, 右の写真が被削材の観察結果である. 図2は, CBN工具を用いた際のガラス材料とアルミニウム合金の違いを比較したAE信号レベルのグラフである.

図2の結果から, アルミニウム切削時のAE信号レベルは, 切削回数とともに増加している傾向がみられた. 特に切込み $0.1\mu\text{m}$ の実験では, AE信号振幅値, 切りくずなどの状態から判断して, 安定した切削が行われていることがわかった. ガラス切削時のAE信号レベルをみると, 波形にばらつきがありガラス材料の安定した切削の難しさが垣間見られた. 特に切削10回目付近に大きな突発型のAE波形が検出され, 切りくずの状態から判断すると切削初期に大きな脆性破壊が起きていたと考える. 図4のCBN工具ではガラス切削時に多少の摩耗がみられた. ガラスの $1\mu\text{m}$ 切削時も同じような摩耗がみられたが, アルミニウム切削後の工具には摩耗はほぼみられず, 被削材側からの凝着が観察された.

図3は, ガラス材料を切削した時の工具の違いによるAE信号レベルをまとめたグラフである. 図3をみると, 10回目と40回目のAE信号レベルの値が大きいことがわかる. ダイヤモンド工具の $1\mu\text{m}$ の切りくずをみると, 細かいガラス片が観察され, 切削初期に大きな脆性破壊が起きたことがわかる. $0.1\mu\text{m}$ の結果から, 切削回数ごとにAE信号レベルの値が増加していることがわかる. 10回目と40回目の切りくず, 被削材加工面の状態をみると, 切削初期は被削材の偏心が原因で切削状態が不安定であり, 徐々に切削回数の増加に伴い安定した切削に移行したことがわかる. $0.1\mu\text{m}$ の切削時には, 糸状の切りくずも確認され延性モードでの切削がされたと考える.

図4は, ガラス切削時の切削前と切削後のすくい面の観察結果である. 上が切削前, 下が切削後の写真である. 図4のダイヤモンド工具の状態をみると, $1\mu\text{m}$ 切削後に大きな摩耗がみられ工具の先端部分がチップングしていた. $0.1\mu\text{m}$ のダイヤモンド工具においても摩耗が生じていることがわかる. 図3のダイヤモンド工具使用時のAE信号レベルから, 工具の損傷の影響を捉えていると考えられる.

図5は, ダイヤモンド工具を用いた際の微小切込み時($0.1\mu\text{m}$)のAE信号波形と周波数解析の一部である. 上のグラフがAE信号源波形, 下のグラフが周波数解析結果である. 図5から, ある程度切削が安定してくると下のAE波形のように波形

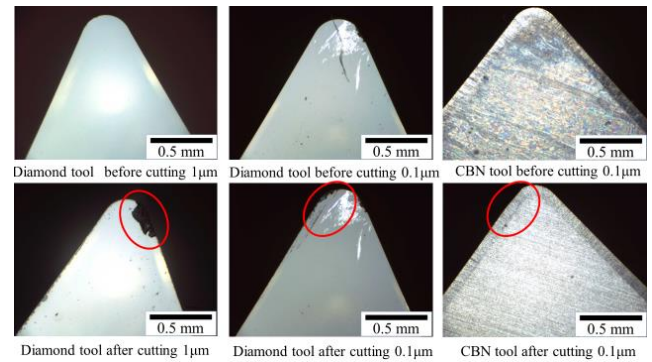


図4 ガラス切削時の工具すくい面の観察結果

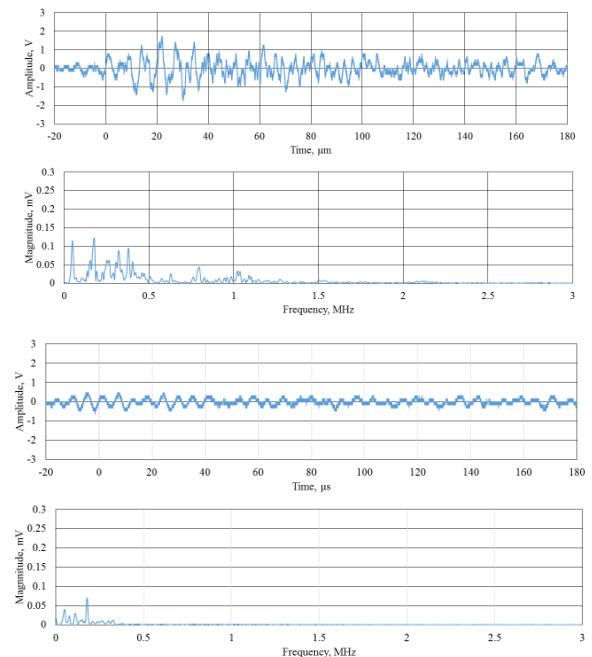


図5 切削不安定時(上)と切削安定時(下)のAE信号波形と周波数解析結果

が小さくなることがわかった. 周波数解析結果の 0.5MHz 以上を高周波領域とすると, 不安定時の周波数結果において, 高周波領域に微小な反応がみられる. 切込み量が少なくなると, この高周波はあまりみられなくなる傾向が実験からわかっている.

以上の結果から, 脆性破壊を伴う切削状態または工具の損耗が進行する際にはAE信号レベルが上昇することがわかった. また, 刃先に凝着や損傷が生じた影響で切削状態が不安定になると, 高周波領域に微小なスペクトル変化が現れることがわかった. これらの知見を利用して, ガラス材料の延性モードでの切削状態をAEインプロセス計測によって維持できる可能性がある.

4. 結言

本研究では, 工具と材料の違いによる切削状態の変化および切込み量の違いによる切削状態の変化に関して検討を行った. 得られた結論は以下のとおりである.

- (1) 刃先に凝着や損傷が生じた際に, AE信号振幅値が上昇する傾向にあることが確認された.
- (2) AE信号源波形の周波数解析結果から, 切削状態が不安定になると高周波領域に微小な反応が現れることがわかった.