

AE センシングによる超精密加工の IoT 化・知能化に関する基礎研究 —工具摩耗に伴う切削状態の変化と AE 信号の相関—

埼玉工業大学 ○柴田裕貴, ◎長谷亜蘭

要 旨

現状の超精密加工では、工具摩耗、工具と被削材の相性、切削条件などによって、加工精度にばらつきが生じてしまうことが問題となっている。そこで本研究では、AEセンシングを用いて加工現象の認識および定量的評価に必要な基礎データを蓄積するため、切削状態とAE信号の特徴について実験・調査を行った。その結果、工具刃先の摩耗の進行に伴い、AE信号振幅およびその周波数解析において反応がみられることがわかった。

1. 緒 言

超精密加工は、極めて繊細な加工であるため、些細な異常で加工精度に大きなばらつきが生じてしまう。加工精度にばらつきが生じると、製品の品質が低下するなど、様々な面で大きな問題となってくる。そこで本研究では、超精密旋削加工に焦点を当て、そのIoT化・知能化のための基礎データを得るための実験研究を遂行した。本実験には、超小型精密 CNC 旋盤を使用した。旋盤に治具を用いて AE センサを取り付け、加工中の AE 信号を計測した。その他、顕微鏡カメラを使用して切削過程の撮影、切りくずの採取と切削回数ごとの表面粗さの測定、逃げ面摩耗幅の観察を行った。これら結果を総合的に分析し、切削状態や工具摩耗に伴う AE 信号との相関関係を検討し、AE センシングによる超精密旋削加工の IoT 化・知能化を目指す。

2. 実験装置の構成

図1は、本研究で使用した実験装置の構成図である。超小型精密 CNC 旋盤を専用のコントローラーに接続し、PC からプログラム制御することで実験を行った。AE センサ（広帯域型を使用）は、バイトホルダの後方に治具を用いて取り付けた。また、AE 信号の検出感度を向上させるため、AE センサとバイトホルダの間にワセリンを塗布した。AE センサからの出力信号は、プリアンプおよびディスクリミネータで70dB増幅し、50 kHz のハイパスフィルタ処理を行った。データロガーと高速波形デジタルライザの2系統でAE信号振幅値とAE信号原波形の計測を行い、それぞれグラフ化や周波数解析を行った。

本研究における実験条件として、被削材はアルミニウム合金（A6063）を使用し、切削工具は立方窒化ホウ素（CBN）を使用した。また、主軸回転数は3000 rpm、送り速度は60 mm/min、切込み0.1 μmとして実験を遂行し、異常の兆候が検出されるまで実験を継続した。

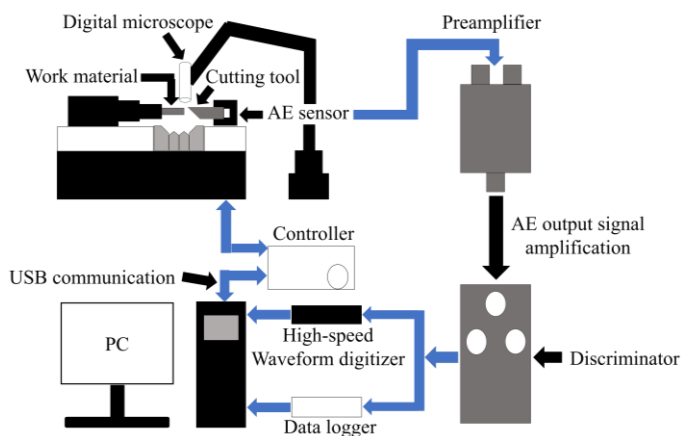


図1 実験装置構成図

3. 実験結果および考察

図2および図3は、データロガーにより得られた AE 信号振幅値の変化である。それぞれ5回切削分の連続した AE 信号波形を示している。図2の406~410回切削時の AE 信号波形には大きな波形はみられず、規則的な波形であることがわかる。このときは、工具摩耗はほとんど進行しておらず、安定した切削が行われていると考えられる。図3の416~420回切削時の AE 信号波形には、5回切削時の後半3回に不規則な波形がみられ、所々に突発的な AE 信号の発生が確認できる。特に、418回切削時には黒丸で示すように、大きな突発型 AE 信号が発生していた。これは、切削力が増加して不安定になったことが原因であると考えられる。

図4および図5は、それぞれ図2と図3の黒丸で示した時間に高速波形デジタルライザにより検出された AE 信号原波形の周波数解析の結果である。図4は、408回切削時の比較的安定した切削時に得られた周波数スペクトルである。周波数解析の強度は0.25 MHz以下に大きなピークがみられ、高周波成分には特筆するピークはみられない。一方で、図5の418回切削時の周波数解析では、0.25 MHz以下の大きなピークの他に、黒丸で示すように1 MHz以上にも小さなピークが現れており、異常の検出を確認できた。

図6は、未使用の工具刃先画像、400回切削後および420回

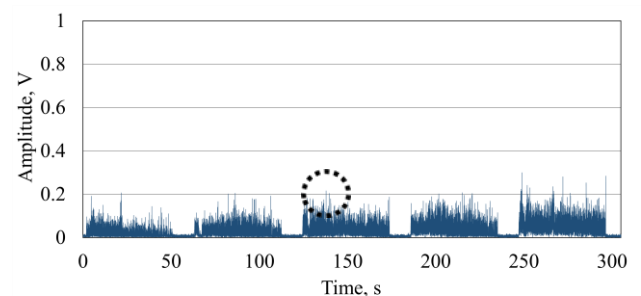


図2 切削406~410回におけるAE信号振幅変化

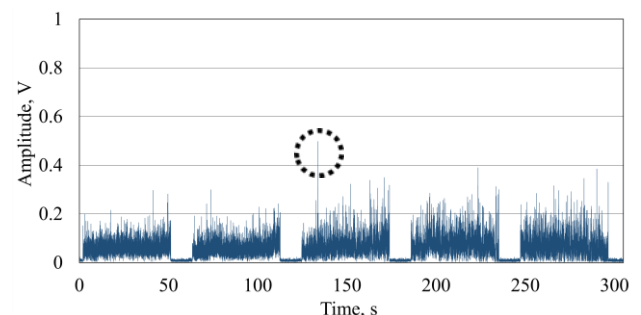


図3 切削416~420回におけるAE信号振幅変化

回切削後の工具刃先画像である。これらを比較すると、図 6 (c) 420 回切削後では図 6 (b) に比べ、白丸で示したように工具すくい面に大きな凝着が発生していることが確認できた。よって、図 5 の黒丸で示した 1 MHz 以上に現れる周波数ピークは、上記のことから凝着の発生によるものと考えられる。

図 7 は、未使用、400 回切削後および 420 回切削後の工具逃げ面の比較画像である。この白丸の部分と比較すると、図 7 (c) では図 (b) と比べ、逃げ面摩耗の発生と被削材の刃先への凝着が確認できる。

図 8 は、実験中に採取された特徴的な形状をした切りくずである。AE 信号が安定していた良好な切削状態では、図 8 (a) のカール 1 巻前後の流れ型切りくずが観察された。突発型 AE 信号の発生や AE 信号原波形に高周波成分が含まれる等の AE 信号に異常が現れた際には、図 8 (b) のようなむしれ型に近いせん断型の切りくずが観察されることがわかった。これは、工具摩耗の進行によって、切りくず生成過程が不安定になった影響を AE センシングで捉えられたと考える。図 8 (c) の塊状の切りくずは、実験終了付近の 500 回切削時に観察された。これは、420 回切削時よりも被削材の刃先への凝着が進行し、よりむしれ型に近い切りくずになったと考える。

図 9 は、デジタルマイクロスコープで撮影した 130~140 秒付近の切削過程の様子で、左図は安定した切削が行われていた 408 回切削時、右図は AE 信号に異常がみられた 418 回切削時

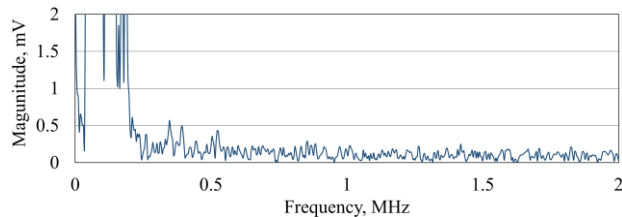


図 4 切削 408 回における AE 信号原波形周波数スペクトル

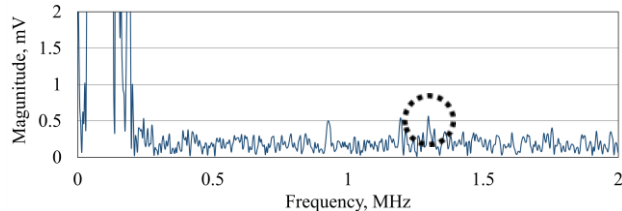


図 5 切削 418 回における AE 信号原波形周波数スペクトル

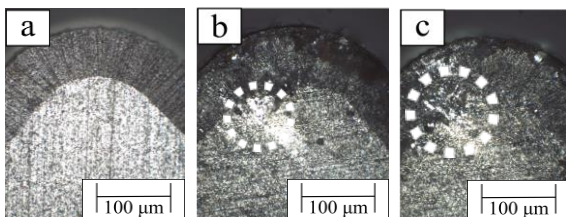


図 6 工具刃先の比較

(a : 未使用, b : 400 回切削後, c : 420 回切削後)

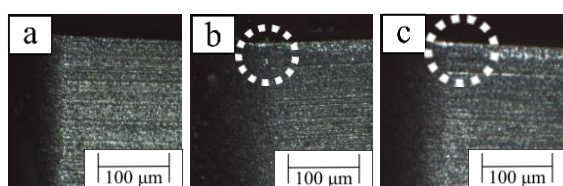


図 7 工具逃げ面の比較

(a : 未使用, b : 400 回切削後, c : 420 回切削後)

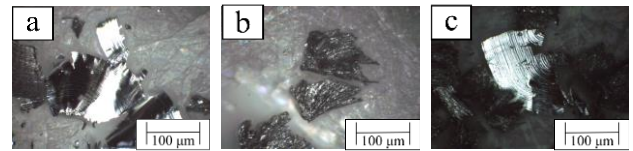


図 8 切りくずの比較

(a : 切削安定時, b : 凝着摩耗検出時, c : 実験終了付近)

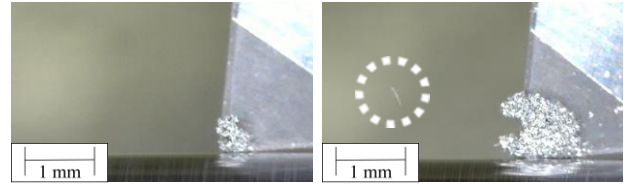


図 9 デジタルマイクロスコープで撮影した切削の様子 (左図 : 408 回切削時, 右図 : 418 回切削時)

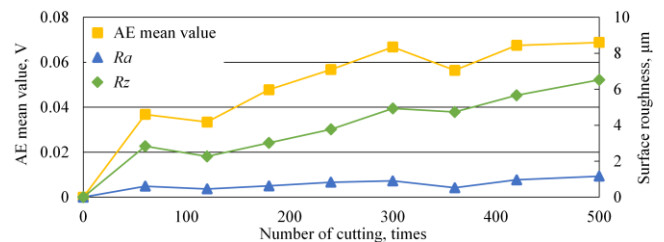


図 10 AE 平均値電圧と表面粗さの経時変化

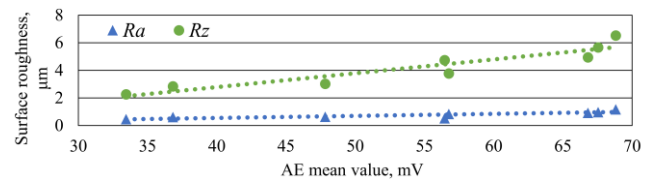


図 11 AE 平均値電圧と表面粗さの相関

である。これらを比較すると、右図では左図に比べ、白丸に示したように切りくずの飛散が確認できた。これは、刃先の凝着現象によって切削状態が不安定になり、むしれ型切りくずの生成とともに大きなひずみエネルギーが解放され、図 5 に黒丸で示したような結果が得られたのではないかと考える。

図 10 は、切削回数による AE 平均値電圧と表面粗さの経時変化を示している。AE 平均値電圧が大きくなると R_z 、 R_a の値が大きくなり、その逆も同様であることがわかる。

図 11 は、AE 平均値電圧と表面粗さの R_z 、 R_a の値の相関を示したものである。AE 平均値電圧の増加に伴い、 R_z および R_a の値も大きくなっていることが確認された。したがって、AE 平均値電圧と表面粗さには正の相関があると言える。

4. 結 言

本研究で得られた結果として、突発型 AE 信号の検出および AE 信号原波形の周波数解析において 1 MHz 以上周波数ピークが検出された場合、凝着現象による切削状態の異常を認識できることがわかった。また、AE 平均値電圧と表面粗さには正の相関があり、AE センシングによって加工状態を定量的に評価できる可能性があることがわかった。

謝 辞

本研究は、高橋産業経済研究財団 令和 2 年度研究助成 (課題名: AE センシングを用いたマイクロ工作機械の IoT 化・知能化に関する研究) の支援のもと遂行された。ここに記して感謝の意を表す。