

無酸素銅の旋削加工時の切りくず処理と加工トラブル検知について

○武田洋一^{#A)}、大志田宜明^{A)}、小林颯青^{B)}、高橋郁也^{B)}、松本空大^{B)}、吉原信人^{C)}

^{A)}岩手大学技術部・理工学系技術部

^{B)}岩手大学理工学部システム創成工学科機械科学コース吉原研究室

^{C)}岩手大学理工学部システム創成工学科機械科学コース

概要

無酸素銅は、その特性から様々な実験装置や電気部品、伝熱部品には欠かせない素材である。一方で、他の金属素材に比べ柔らかく延性も高いために切りくず処理が難しい。また、高い延性ゆえに工具や素材への切りくずの巻き込みや絡みつき等により自動化加工ではトラブルが起きやすい。本発表では、本年度研究指導を行った無酸素銅の切りくず処理と加工トラブルの検知について紹介する。

1. はじめに

旋盤加工では、連続加工ゆえに切りくずがつながりやすい。生産を上げるためには回転数や送り速度などの切削条件や工具形状、切削油材などを調整し、適度に分断するよう最適化を図る。しかし、銅や樹脂のような高延性材料は切りくずが分断のコントロールが難しく、切りくず絡み、加工面への傷、工具摩耗、工具や機械の破損などが発生し、量産加工時の課題となっている。現在このような素材向けの技術として揺動切削などがあるが、仕上げ時の精度低下や機械負荷が課題となっている。

本研究は、企業からの受託研究として無酸素銅の旋盤加工自動化の課題解決として行った。高精度化に向けた工具摩耗と切りくずからみのモニタリング技術の確立と切りくず処理の最適化に向け、旋盤加工での振動測定と様々な切削条件下での切削試験など実験を行い、量産性の向上を目的に考察した。

2. 無酸素銅の旋削加工トラブル検知に向けた振動センシング

2.1 実験装置の構成

本実験では汎用普通旋盤のバイト先端にセンサを取り付け、オシロスコープなどにより振動を測定した。センサには加速度センサと AE センサを用いている。工具には超硬工具(京セラ社 DCGT11T302R-A3 KW10)らを用いた。被削材には無酸素銅(C1100 Φ16 mm)を使用し、端面切削と外径切削を実施した。外径切削はドライ切削と MQL 切削を行った。



図 1. 旋削工具振動センシングの装置構成

2.2 真鍮と無酸素銅、センサ種別での振動比較

真鍮との切削加工との振動比較を行った。(図 2) 切りくずと同様に銅の加工は真鍮より振幅と波長ともに大きくノイズ状の不安定な波形が多く計測された。計測による異常の検知が他の素材に比べ難しいと予測された。また加速度センサ・AE センサともに振幅は異なるものの同様の波形形状を示した。

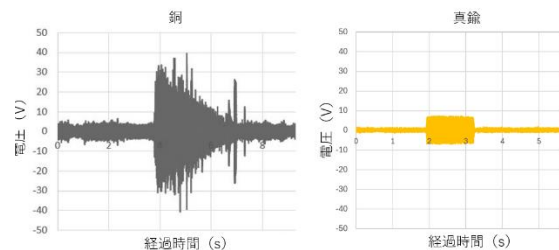


図 2. 材種による旋削加工時の工具振動 (AE)

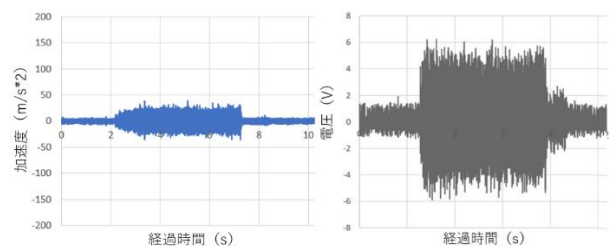


図 3. センサによる無酸素銅旋削時の波形比較 (左・加速度センサ 右: AE センサ)

2.3 端面切削加工によるセンシング

図 4 に端面切削加工で欠損が起きた時の振動波形を示す。ドライ切削・切り込み 0.2 mm、送り 0.1 mm/rev、回転数 1500 rpm で 4 回切削している。①の新品の端面切削では刃先が中心に向かうにつれ振動が小さくなる傾向にある。切削負荷の低下によるものと思われる。②の時には①に比べ波形が大きくなり、また後退時の波形が大きくなった。摩耗による切削負荷増大による影響と考えられる。この後工具欠

損と切りくず巻き付きが観測された。③では工具先端が欠損し振幅がより大きくなる傾向であったが、④のように減少する場合もあった。これは構成刃先による切削負荷の低下によるものと考えられる。工具先端の観察では、工具が欠損や摩耗した場合には被削材が溶着や構成刃先が確認された。構成刃先は時に大きなすくい角を持つため、切削負荷が低下するが精度品位低下につながる。特に周速変化の大きい端面切削では溶着や構成刃先が発生しやすいために、それを抑える工具種や形状の工具選定が必要である。波形からのトラブルの判別は工具振幅の増加や波形変化から判別できる一方で、振幅減少する場合もあることから、新品時との比較が必要である。

2.4 外径切削加工におけるセンシング

外径切削では切込み量を変えながら実験を行った。

図5に同様の工具、同様の条件で実験した時の加速度データ波形を示す。切込み量と振幅は比例関係であることが分かった。しかし、工具の異常は検知できなかったため、意図的に摩耗させた工具での実験を行った。工具はステンレスの切削により摩耗させた。まず、図6に摩耗状態の工具のAEセンサデータを示し、図7に実験によって形成された構成刃先を示す。摩耗している工具においても赤線で囲まれている箇所は振幅が新品状態の波形よりも小さい。これは、端面切削時同様に構成刃先が形成され、すくい角が大きくなったような状態が作られたことによって切削抵抗が減少したためである。

2.5 切削油材による振動影響

量産加工での切削油を大量にかけながら加工を行うため、工具振動にもその影響があると予測される。その影響を図るためにMQLによる切削の影響を計測した。波形を図8に示す。MQLを用いることにより、振幅が小さくかつ安定している。切りくず処理が切削油の運搬作用によって安定し、また切削油による切削抵抗の低減が確認されたと考えられる。外径切削でも微量ではあるが振幅が小さくなった一方で、伸びた切りくずが分断される際に絡まることによりノイズ振動が計測された。かけ方を考慮するとともに分断しやすいような切りくずコントロールが必要である。

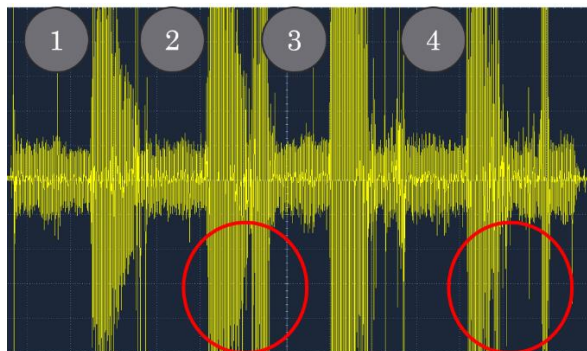


図4. 端面切削による工具振動波形（加速度）

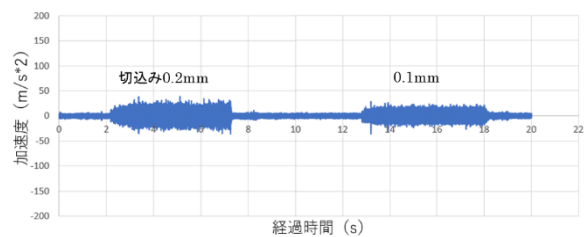


図5. 外径切削字の工具振動

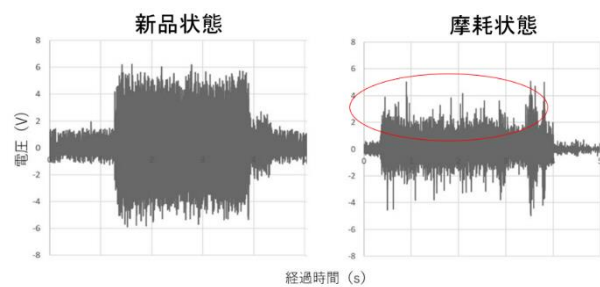


図6. 摩耗状態の工具 AE センサ波形

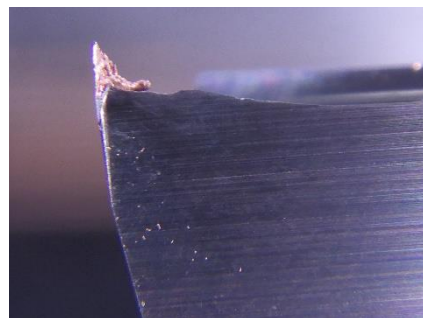


図7. 構成刃先

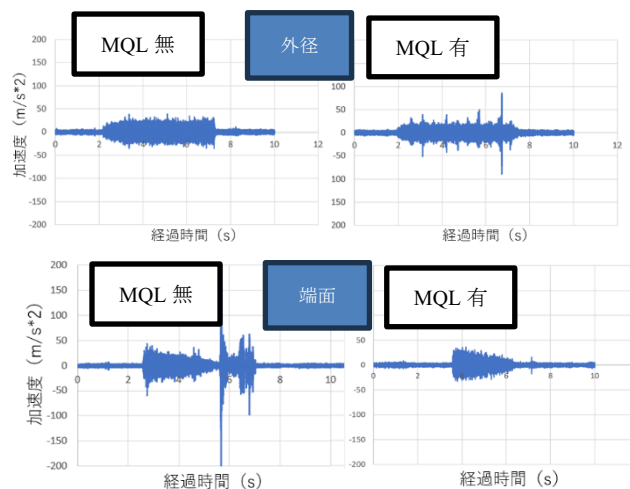


図8. 切削油 MQL 使用での工具振動

3. 無酸素銅の切削条件に与える切りくず形状に与える影響

3.1 実験設備と条件

- 加工機 CNC 旋盤 (DMG 森精機 Flontia-L1)
- 工具 京セラ NTK (超硬・PCD 等)
- 手法 切りくず観察・排出の様子を観察

切削条件は量産品の精度や面粗度、設備性能に準じている。

3.2 標準刃物に対する切削条件の検討

単純な形状を持つ京セラ (DCMT11T304SE-PCD チップブレーカー無) を用い乾式切削を行った切りくずの結果を図 9 に示す。チップブレーカー無し PCD 工具では切り込みが大きくなるにつれて切り屑がカールしにくく、かつ切れにくくなる。反対に送りには大きくなるほど切り屑がカール形状になっており、切れやすくなっていることがわかる。送りが 0.15 (mm/rev) では切り屑が絡まらなかった。次に、切削油有 (湿式) で切削を行った結果を図 10 に示す。湿式の切削では乾式の場合に比べて、カール半径が大きく、切れにくい切り屑形状になっている。切削油によるすくい面の潤滑の影響と考えられる。

		DCMT11T304-SE (周速S=100m/min)		
切り込み ap(mm)	1.0			
	0.5			
	0.25			
	0.1			
		0.05	0.1	0.15
		送り f(mm/rev)		

図 9. 切り屑比較 (乾式)

		DCMT11T304-SE		
		周速S(m/min)		
		50	100	150
1.0				
		0.15		
		送り f(mm/rev)		

図 10. 切り屑比較 (湿式)

3.3 チップブレーカー工具の切削条件の検討

チップブレーカーを有する工具 (京セラ製 DCMT11T304APD-PCD) でドライ加工を行った結果を図 11 に示す。送りを大きくするとチップが欠損した。チップブレーカーは低送りでないとは機能しないと考えられる。また低送り、湿式で切削を行うと切り込み量を大きくしてもチップは欠損せず、切り屑もチップブレーカーが機能しているカールを巻いた形状になっていることを確認している。そこでチップブレーカーを有する工具の摩耗について調べた。

図 12 に初回のみ乾式加工したチップ表面を示す。工具には超硬工具 (DCMT11T304FN DLC コーティング) を用いた。すくい面には大きなコーティングの剥がれが確認された。なお同工数の全湿式の加工には摩耗は確認されなかった。無酸素銅の延性により、工具すくい面に大きな摩擦発生するだけでなく、ブレーカーが切りくずの流れに抵抗になっていると考えられる。そのため、無酸素銅加工においては、高送りや高切込みでの切削条件ではチップブレーカーが発揮されにくい。よってチップブレーカーは仕上げ加工条件などに適していると言える。

		DCMT11T302APD,(周速S=100m/min)		
切り込みap(mm)	0.25		欠損	欠損
	0.1			
		0.05	0.1	0.15
		送り f(mm/rev)		

図 11. チップブレーカーでの切りくず比較 (乾式)

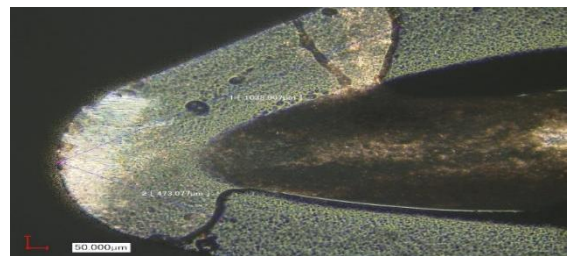


図 12. チップブレーカー表面のコーティング摩耗

3.4 生産性向上のための切削条件の検討

旋削での生産性を上げるためには、荒加工時の除去量を上げることが必要である。そのためには高切込み、高送り、高回転での加工が有効である。そこで高回転と高送り、高切込みに着目し、実験を行った。工具は超硬のすくい角の大きい標準チップ (DCGT11T302-A3) を用いた。周速 400 m/min とし ①切り込み 0.25 mm 送り 0.3 mm/rev と②切り込み 1.5 mm 送り 0.025 mm/rev を比較した。切りくずを図 13 に示す。切削油材として MQL を用いた。①では 100

mm 程度できれいなカール形状の切りくずと②では幅のある縮れた切りくずとなった。加工中の様子を図 14 に示す。周速が早い場合には安定した切りくずが排出されるのに対し、②の高切込み低送りでは工具先端を中心に巻き付くような形が見られる。高切込みでは工具に中心側と外周側で切削距離が異なり、すくい形状の影響を受けやすい。そのため量産加工では工具のすくい形状により切りくずをコントロールする必要がある。

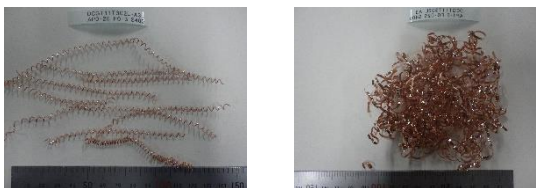


図 13. 高送りと高切込みの切りくずの比較
(左 : Ap0.25 f0.3 右 : Ap1.5 f0.025)

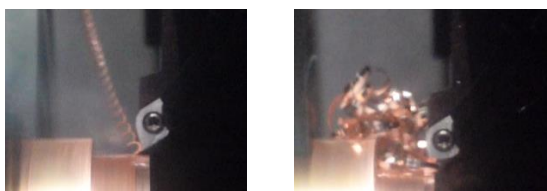


図 14. 高送りと高切込みの切削時の比較
(左 : Ap0.25 f0.3 右 : Ap1.5 f0.025)

4. まとめ

実験を通じ以下の知見を得た。

- 旋削加工での工具振動は延性の高さが原因となり、他の被削材にくらべ不安定な振動波形を示す。
- 構成刃先や切りくずが要因の振動波形変化が見られる。
- 工具摩耗や加工異常を検知するには、他の素材に比べ不均一な工具振動から、より安定した切削条件であることが求められる。
- 旋削の切削送りを上げることにより、カールが促進され安定した切りくず形成ができる。
- チップブレーカーは高送りや高切込みでは、切りくず流れの抵抗となり、不安定切削となりやすい。そのため仕上げ加工に適する。
- 低切込みでは切削速度の影響を受けにくい。生産性を上げるためには低切込み高送りの方が安定傾向である。