

超精密加工技術に関する研究

機械技術部 市来浩一, 岩本竜一, 南 晃
鹿児島大学 近藤英二, 皮籠石紀雄

1. はじめに

単結晶天然ダイヤモンドバイトによる非鉄軟質金属の超精密切削加工は、数ナノ～数十ナノレベルの表面あらしが得られるため、半導体部品や光学部品の加工などに用いられている。このような超精密切削加工は、通常の切削加工に比べ、加工面を鏡面に仕上げる目的のために、送り速度を低く抑えることが多く、実切削距離が長くなり工具摩耗を進行させる傾向が強くなる。この摩耗は非常に小さく一般的な方法では、加工機内で確認することが困難であるにも関わらず、超精密切削加工においては、工具刃先形状が高い精度で被削面に転写されるために、微細な摩耗であっても製品不良の原因となり生産性を阻害する。本研究では、工具摩耗をインプロセスで検出するための基礎的な資料を得ることを目的として、単結晶天然ダイヤモンドのRバイトを用いて、アルミニウム合金の超精密正面切削を行い、工具摩耗が表面あらしに及ぼす影響、工具摩耗と切削抵抗およびAE信号との関係を系統的に調べたので報告する。

2. 実験装置および方法

実験は、超精密加工機（豊田工機(株) AHN60-3D）に単結晶天然ダイヤモンドのR5バイトを取り付け、アルミニウム合金（A5056、硬度:75Hv）の正面切削を行った。この時の切削抵抗を、切削動力計（日本キスラー(株) 9256A）で計測し、同時にAE信号はAEセンサにより測定した。加工後の表面あらしは、走査型白色干渉計（Zygo New View 5032）で測定し、工具摩耗は日本電子(株)製フィールドエミッション走査電子顕微鏡JSM-6330F（以下SEM）を用いて観察した。切削条件は、送り速度 $50\mu\text{m}/\text{rev}$ 、切込み $30\mu\text{m}$ とした。この条件は、切込みと送り速度をそれぞれ $t=5\sim 50\mu\text{m}$ 、 $f=20\sim 80\mu\text{m}/\text{rev}$ の範囲で変えて予備実験を行い、安定した鏡面が得られる条件を選定したものである。なお、この実験範囲内においては、切込みを変えても表面あらしに有意差は見られず、送り速度を変えた場合は、ほぼ理論値通りの表面あらしが得られた。

3. 実験結果および考察

3.1 表面あらし

実切削距離 L と表面あらし R_y の関係は、表面あらし R_y は実切削距離 L の増加とともに大きくなる傾向が見られ、 $L=680\mu\text{m}$ で送りマークの底に小さな傷が発生したために鏡面が得られなくなり、この実切削距離 $L=680\mu\text{m}$ を工具寿命と判断した。特に $L=100\mu\text{m}$ 以降の範囲では、単調にあらしが大きくなった。工具摩耗状態を $L=100\mu\text{m}$ 毎にSEMで観察した結果、刃先のチップングなどは見られなかった。摩耗形態は逃げ面のアブレッシブ摩耗を主体とするものであり、これに伴う切れ刃の後退が確認出来た。表面あらしが単調に大きくなる原因の一つとして、実切削距離の増加に伴い切れ刃が後退し、実際の工具刃先半径が小さくなり表面あらしが大きくなることが考えられる。しかし、境界摩耗部分での切れ刃の後退量が $10\mu\text{m}$ 以下であることから、工具刃先半径の減少が表面あらしの増加に及ぼす影響は小さいと判断できる。そこで、切込み $50\mu\text{m}$ 以下の範囲内の逃げ面摩耗幅の変化を調べたところ、この範

囲における $L=100\text{km}$ までの工具摩耗の進行は早いですが、 $L=200\text{km}$ 以降の逃げ面摩耗幅はほぼ単調に増加している。このような摩耗の進行状況は実切削距離と表面粗さの関係と非常に良く一致していることから、表面あらさを単調増加させている要因は、工具摩耗の進行に伴い工具切れ刃稜を含む逃げ面摩耗幅全体の表面あらさが大きくなることによると推定できる。

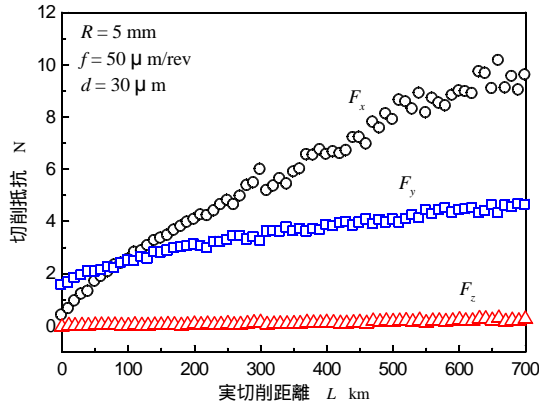


図1 実切削距離と切削抵抗

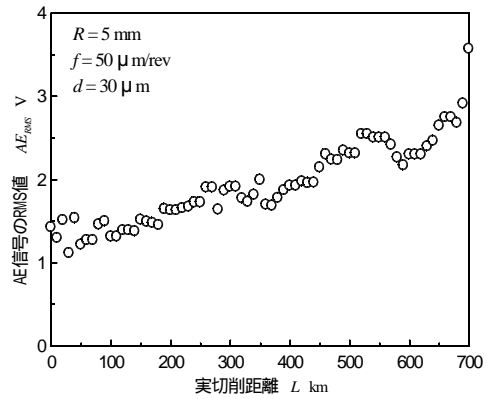


図2 実切削距離とAE

3.2 切削抵抗

切削距離と切削抵抗の関係を図1に示す。実切削距離の増加に伴って、主分力 F_y および背分力 F_x は大きくなっており、その増加割合は背分力の方が大きい。このことから、工具摩耗の進行と背分力の間の相関が高いと判断し、逃げ面摩耗幅面積を用いて単位面積当たりの背分力を計算するとほぼ一定の値 ($0.74\text{mN}/\mu\text{m}^2$) となった。両者は比例関係にあると考えられる。一方、図1に示すように、背分力は $L=300\text{km}$ 付近を境界に測定値に変動が見られることから、背分力の動的成分に着目することにより、工具摩耗を検知出来る可能性がある。

3.3 AE信号

実切削距離とAE信号のRMS値 AE_{RMS} の関係を図2に示す。実切削距離の増加に伴い、 AE_{RMS} は増減を繰り返しながら全体的には増加している。工具寿命付近でレベルや増加割合の変化などの顕著な差は表れない。しかし、全体的な傾向は、表面あらさや切削抵抗の場合と似ていることからAE信号の中に、工具摩耗に関する情報も含まれていると考えられる。

4. まとめ

超精密加工のインプロセスで状態監視を行う観点から、切削抵抗やAE信号を用いて研究を行った結果、切削抵抗では背分力の動的成分に、AE信号ではある特定の周波数帯域に変化があり、工具寿命検知の可能性を見出した。

参考文献

超精密生産技術体系 第2巻 実用技術