

【L13】紫外パルスレーザーを用いたマイクロ加工法の研究

01E2027 下山 明寛 01E2055 三浦 直也
(指導教員 河村 良行教授)

1. 緒言

本研究では、レーザー加工技術を用いてマイクロ加工の精度向上を目的として、以下の二項目の加工を行った。

第一に、東京電気大学の依頼により、ポリミドフィルムを使いゾウリムシに装着させるリング型の作業用具のマイクロ加工を行う研究である。これはゾウリムシにリング形状を装着させることであり、マイクロマシン・マイクロアクチュエータに応用する。リングの精度とアタッチメントを容易に行える加工条件の研究を行った。

第二に、大阪大学との共同研究より、金属の先端を放物面形状にマイクロ加工する研究である。大阪大学はレーザーを集光させ高密度のエネルギーを生み出すレーザー核融合の研究を行っており、本研究ではレーザーを集光させる際に必要な放物面形状の試料をアルミ、銅、真鍮の三種類を用いて製作を行い、レーザー加工した試料の精度評価、集光特性の評価をする。

2. 実験装置

実験装置を Fig. 1 に示す。レーザーは Nd : YAG レーザー光 (波長 1064 nm) を波長変換装置により 4 倍波 (波長 266 nm) に変換し使用する。レーザー装置から発生したレーザー光はミラーとレンズを通し 5 軸加工台へと導かれている。ピンホールはレーザー光を真円に近づけるため設置している。5 軸加工台の制御は TTL ボードを通してパソコンの Visual Basic6.0 で制御できる仕組みになっている。また CCD カメラにより、加工物を 140 倍まで拡大してモニターで写すことができるので、アライメントの調整が容易になっている。

3. 補正加工

3.1 補正加工イメージ

Fig.2 に補正加工イメージを示す。(a)に補正加工なし加工結果、(b)に補正加工ありの加工結果を示す。加工にあたって、座標通り加工をするラインを目標加工ラインとするとレーザーの集光径分割れてしまい実際加工ラインができる。目標加工ライン通り加工するには補正をかけた補正加工ラインが必要である。

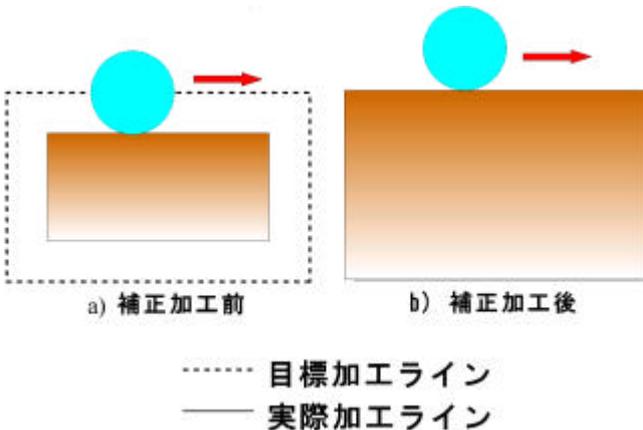


Fig.2 補正加工イメージ

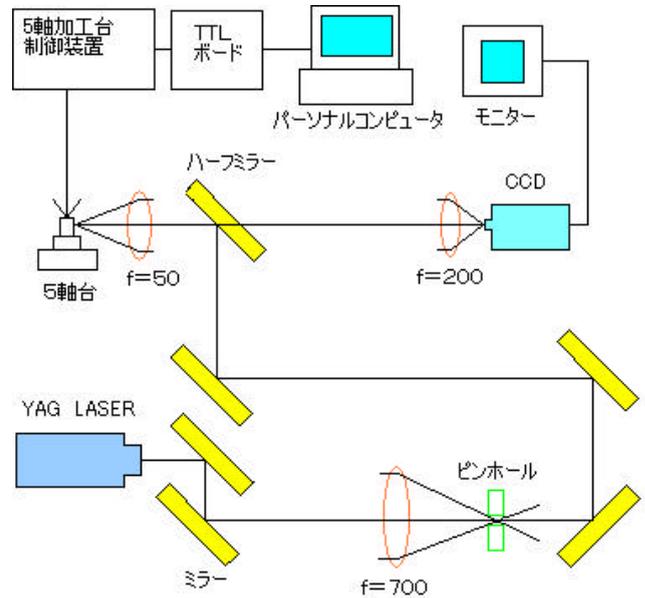


Fig. 1 実験装置

4. リング形状型の平面加工

4.1 実験方法

作製にあたってはリング加工プログラムにより各条件を入力しリングを加工する。しかし、レーザーの集光径分を補正する必要があるため、あらかじめ試験試料を加工し、SEM (走査型電子顕微鏡) で観察することによって集光径のサイズを確認し、補正を行った上で加工する。

4.2 実験結果及び考察

Fig.3 に加工条件とリング形状型の平面加工を示す。加工する前にまず集光径サイズを想定し補正を行う必要があったので今回の加工ではレーザーの集光径を $25 \mu\text{m}$ と考えた。しかし予定ではリングの寸法は内側が $40 \mu\text{m}$ 、外側が $60 \mu\text{m}$ となるはずであったが内側が $17 \mu\text{m}$ 、外側が $88 \mu\text{m}$ となった。目標加工ラインと実際加工ラインとの誤差は内側が $23 \mu\text{m}$ 、外側が $28 \mu\text{m}$ と大きな誤差がでた。これは集光径が予想よりも小さすぎたため誤差が大きくなったためと考えられる。また少量の削りカスが表面に付着していたので、加工精度を向上させるためにもこれを除去する必要がある。削りカスは蒸散閾値より低い紫外レーザーを加工物の表面に当てることで削りカスの除去ができる。以上より精度の高い加工法が行えた。

加工条件	数値
内径	$8 \mu\text{m}$
分割回数	36回
外径	$45 \mu\text{m}$
分割回数	108回
照射回数	500発
レーザー出力	0.06Jm 以下
厚み	$15 \mu\text{m}$

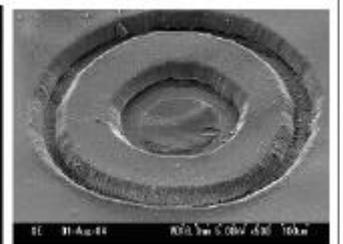


Fig.3 加工条件とリング形状

5. 放物面形状型の立体加工

5.1 実験方法

加工法は5軸加工台の軸に試料を取り付け、直線移動と縦移動と回転移動を制御することで放物面形状加工が可能となる。また補正にあたっては、各座標の垂線と傾きを求めレーザー集光径の半径分を補正することで目標寸法の直径143 μm 、高さ200 μm の加工ができる。試料はアルミ、銅、真鍮を使用して加工を行った。

5.2 実験結果及び考察

加工条件は照射エネルギー密度750J/cm²、繰り返し回数30Hz、集光径30 μm 、レーザー出力0.5mJ、条件で以下の加工を行った。Fig.4に補正なしの典型的な加工結果を示す。先端が鋭角なのは補正をけなかつたことが放物面を目標加工ラインよりも細くした。Fig.5~Fig.7では補正を行って加工をした。Fig.5に真鍮の加工結果を示す。目標加工ラインと比較した結果、実際加工ラインと誤差が出た。原因は加工時に蒸散閾値が異なると削り方も違って来る。よって真鍮は想定していた蒸散閾値が高いため加工できるサイズが変わったためである。Fig.6にアルミの加工結果を示す。目標加工ライン通りの加工であった。これは今回設定したレーザーのパワで削れる範囲と想定した補正距離が一致したからである。Fig.7に銅の加工結果を示す。銅を加工する際に表面に数 μm の凹凸が生じる傾向があった。対策法は紫外線レーザーに赤外線レーザーを同時照射することで補助効果が生まれ、表面の凹凸が無くなり、また加工時間も短縮された。

5.3 集光特性検証実験

我々が放物面にレーザーマイクロ加工した試作品は実用化が可能か検証するためエポキシ樹脂で雌型の製作し、空気中ではレーザーは見えないため乳液中で検証を行った。

Fig. 8に、検証結果及びイメージを示す。光の最大拡散角度は約40~60°であり、座標Xで考えると45~75 μm の範囲した反射されていなかった。その結果、中心部分の放物線が活かされてなく理論上の最大拡散角度より細くなっていた。原因としてエポキシ樹脂の雌型の表面が鏡面ではなく散乱面であったので根元付近の入射角の小さい光は反射し、先端部分の入射角の大きい部分は反射されなかったためである。出口の先端にフィルムを取り付けていたためフィルムの厚さにより先端付近へ来る光の反射は遮られた。

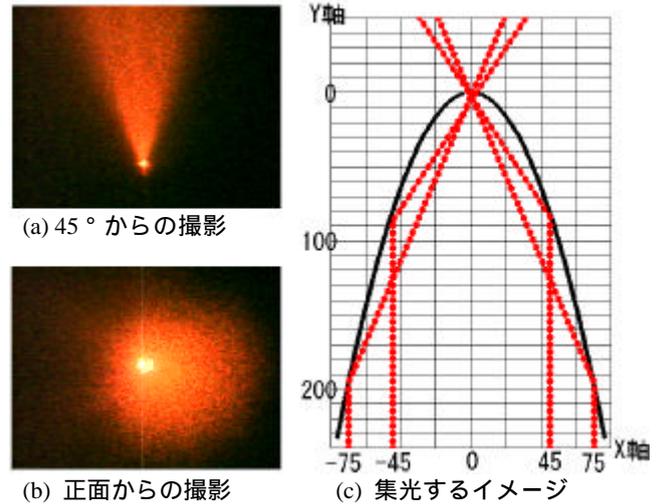


Fig. 8 検証結果及びイメージ

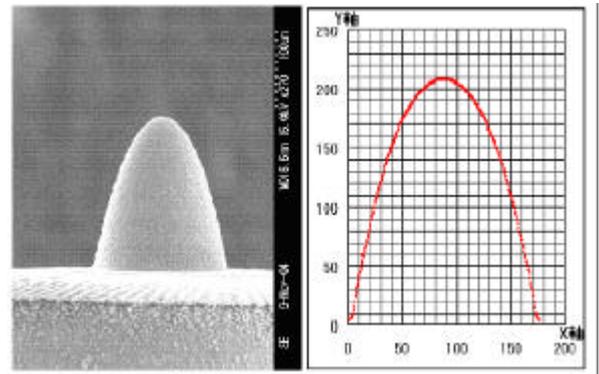


Fig.9 加工後の座標図

5.4 実際加工ラインと2次近似曲線ラインの精度

日本の厚生省に当たる米国のNational Institute of Healthが開発したフリーソフト、本来は血液の顕微鏡写真から赤血球などの大きさや座標を読み出すためのソフト NIH image Ver. 1.63を利用し我々がレーザーマイクロ加工した試作品が2次近似曲線ラインにどれだけ近似しているか標準偏差を求めた。Fig.9に加工後の座標図を示す。画像にNIH image Ver. 1.63を使い二値化することで背景と試料の境界が区別化され境目を数値に表しExcelで座標化することができる、標準偏差はExcelを使い二次近似曲線で求めて理想値との誤差から求めた。

6. 結言

- 1) レーザー集光径を最大限まで集光して精度の良い加工加工ができる、加工後の削りカスは蒸散閾値より低い紫外線レーザーで飛ばせる。
- 2) 蒸散閾値が高いと微弱なレーザー光では真鍮や銅は加工に時間がかかるが、赤外線レーザーの同時照射することで加工時間は短縮できる。蒸散閾値が低いと加工に要する時間が短縮される。
- 3) 放物面加工の補正は各座標の垂線と傾きを求めレーザー集光径の半径分を補正することにより理論値通りの加工が可能となった。
- 4) 標準偏差は実際加工ラインと二次近似曲線で比較し、0.791 μm となった。

参考文献

- 1) NIF : <http://rimrpost.rimr.akita-u.ac.jp/~ksaiki/nih.html>

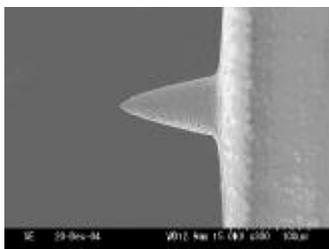


Fig.4 補正なしの放物面加工

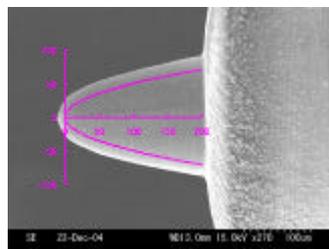


Fig.5 真鍮の放物面加工

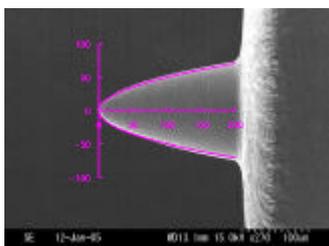


Fig.6 アルミの放物面加工

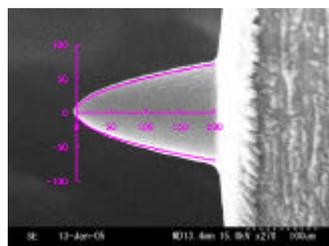


Fig.7 同時照射放物面加工