5軸マイクロレーザー加工装置の開発

河村 良行, 竹中 篤司

福岡工業大学 工学部電子機械工学科 (〒811-0295 福岡市東区和白東 3-30-1)

Development of a Five Axis Laser Micromachining System

Yoshiyuki KAWAMURA and Atusi TAKENAKA

Department of Electronic and Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Fukuoka Institute of Technology
3-30-1 Wajirohigashi, Higashi-ku, Fukuoka 811-0295

(Received June 26, 1998)

A five axis laser micromachining system has been developed, that can be used for the laser machining of three-dimensional micro structures. Using an appropriate correction for the eccentric displacement between the rotational axes and the center axis of the target, the patterning of longitude lines and latitude lines has been successfully performed on the spherical surface of a miniature still ball with a diameter of 1.2 mm. C₆₀-like geometry (soccer ball pattern) has also been successfully fabricated on this still ball.

Key Words: Micromachining, Five axis, Laser machining, Soccer ball

1. はじめに

我々がこれまでに開発したレーザー旋盤加工法¹⁻³⁾では、加工物を動かせる自由度は通常の旋盤と同じ2個であり、加工できる形状に制限があった。本研究ではレーザー旋盤加工法で加工できない複雑な形状の加工を行うために、加工物の移動及び回転の自由度を新たに3個つけて加え合計5個とし、5軸マイクロレーザー加工装置を開発した。

5軸マイクロレーザー加工装置では、加工物の2つの回転軸とレーザー光の光軸を互いに正確に直交させることが、光軸合わせで最も重要になる。特に、2つの回転軸に対する微小球の取り付け偏心誤差により発生する回転運動をどの様にして修正・補正するかが、5軸マイクロレーザー加工装置の開発の重要なポイントとなる。

本加工装置の最終目的は微小な立体形状の加工である

が、本稿では本装置を微小な球体の表面のパターニング⁴⁾に用いた結果について述べる。

2. 実験システム

Fig.1 に実験装置の概略を示す。加工用のレーザーはQスイッチYAGレーザーの4倍波であり、システム制御用のパソコンにより必要に応じて作動させることが出来る。直径1mmのピンホールの像をターゲット上に転送する、像転送光学系により、最小集光径は約30 μ mとなる。Fig.2に示すX軸、Y軸、Z軸の3個の直線軸移動及び、 ω 軸、 θ 軸の2個の回転軸移動が、パルスモーター駆動の5個の精密ステージにより可能である。これらの精密ステージはパソコンからのTTL信号により駆動されている。ビームスプリッターを透過する加工物の可視光の像はカラーCCD上に結像され、

Fig.1 Five axis laser micromachining system.

Fig.2 Three linear axes and two rotational axes which compose five freedoms of motion.

テレビのモニター上に映し出される。モニター上では、走査線の間隔は約 $5\mu\text{m}$ に相当し、ターゲットの相対的な位置の変化をほぼ $5\mu\text{m}$ の精度で観測することが出来る。加工のプログラムはC言語により記述され、数kHzの信号処理が可能であるが、加工速度はレーザー装置の繰り返し速度の10Hzで律速されている。

3. ターゲット取り付け偏心誤差の修正法

3.1 ω 軸回転に関する修正

ω 軸の回転による球状ターゲットの偏心運動を防ぐには、 ω 軸上に球状ターゲットの中心を合わせる必要がある。Fig.2に示されるように、球状ターゲットは直接 ω 軸に取り付けられている。Fig.3に示すように、一般に球状ターゲットは ω 回転軸から偏心した状態で取り付けられているので、 ω 軸が回転するとターゲットの中心は回転運動を行う。この偏心運動は、レーザー光の照射位置とターゲットの相対的位置関係をずらすので、精密な加工の妨げとなる。本研究では、この偏心誤差を修正するための手法として、 ω 軸に垂直な方向の運動を与える2つの移動ステージ(Xステージ、Zステージ)で、時々刻々この偏心を補正する方法を考案し、その効果を実験的に検証した。

Fig.4に示すように、この偏心運動は偏心距離を r とすると半径 r の円軌道になる。このとき、偏心補正ベクトルを A_n 、 ω 軸の回転角を ω_n とすると

$$A_n = (r(1 - \cos \omega_n), -r \sin \omega_n) \quad (1)$$

となる。また、Xステージ及びYステージの $n-1$ ステップから n ステップへの移動量は A_n の差分で与えられ、これを B_n とすると

$$B_n = A_n - A_{n-1} \\ = (r(\cos \omega_n - \cos \omega_{n-1}), -r(\sin \omega_n - \sin \omega_{n-1})) \quad (2)$$

となる。

偏心距離 r は、 θ 軸を360度回転させた時の球状ターゲットの軸振れを90度異なる方向からCCDテレビモニターにより観測することにより、モニターの分解能と像の拡大率で決まる精度程度(本実験では約 $10\mu\text{m}$ 程度)で決定できる。

3.2 θ 回転軸に関する修正

θ 軸の回転による球状ターゲットの偏心運動を防ぐには、

Fig.3 Eccentric displacement between the axis of the spherical target and the rotational axis.

Fig.4 Correction vector of eccentric error and finite difference of this vector.

θ 軸上に球状ターゲットの中心を合わせる必要がある。Fig.2に示されるように、球状ターゲットは直接 θ 軸に取り付けられているのではなく、Xステージ及びYステージを介して θ 軸ステージに取り付けられているので、3.1の場合のような回転角に依存する補正は必要ではなくなる。 θ 軸に対するターゲット中心の偏心量は、 θ 軸を360度回転させた時の球状ターゲットの軸振れ距離を90度異なる方向からCCDテレビモニターにより観測しながら、徐々に減少させるようにX及びYステージを調整することにより、モニターを用いてのターゲット位置観測の分解能程度まで収束させることが出来た。

4. 実験結果

4.1 経線・緯線の描画

球面上の任意の点に加工用のレーザー光を照射するためには2つの回転の自由度が必要となる。本加工装置ではこの2つの回転軸として θ 軸及び ω 軸ととり、1.2mmのスチール球ターゲットを地球に見立て、 ω 軸と球面の交わる点を北極及び南極とする。従って、加工スポットは、 ω 軸を回転することにより一定の緯度上を移動し、また θ 軸を回転することにより一定の経度上を移動することになる。この経線・緯線の描画精度から、球面上での加工スポットの位置合わせ精度を評価することが出来る。

Fig.5は偏心補正を行った場合の、北極で交わる45度間隔の8本の経線と北緯45度の緯線の描画を示す。(a)は北極の真上から見たものであり、(b)はこれと垂直な方向から見たものである。偏心補正を行わないとき4組の経線の相対的な角度関係は45度間隔で一定に正確に正しく保たれるが、これらの交点は一点で交わっていないのみならず、中心からずれている。しかしながら、補正を行った場合は、Fig.5に示されるように4組の経線の相対的な角度関係は45度間隔で一定に保たれているのみならず、これらの交点は一点で交わっており、さらにこの交点の ω 軸からのずれは、偏心補正を行わない場合と比較してはるかに小さくなっていることが明らかとなった。この結果から、回転軸に直交する2つの直線移動ステージによる偏心の補正の有効性が、実験的に検証された。

(a)

(b)

Fig.5 Patterning longitudes and latitudes on the spherical steel ball targets. (a) top view. (b) side view.

Fig.6 C_{60} like (soccer ball) pattern. Solid circles are the points on which the laser beam was focused.

4.2 C_{60} 様パターンの描画

C_{60} 状のパターンはFig.6に示すように正十二面体の各々の正五角形面の中心に、この面よりも小さい正五角形が配置された形状になっている⁵⁾。従って描画は、十二面体の中心に加工スポットを移動し、次にこの点を中心とする正五角形を描画する、という手順をとった。描画においては、Fig.6に示されるA, Bの値を等しく取った。

Fig.7に本研究により開発したレーザー加工システムを用いて、1.2mmの鋼球上に加工した C_{60} 様のパターンの典型

(a)

(b)

Fig.7 Fabrication of C_{60} like pattern on the surface of the spherical steel ball. (a) magnified view. (b) distant view.

的な加工例を示す。加工点はFig.6の中で黒点で示した60個の点である。加工物の取り付け偏心誤差を、上述した手法で、補正することにより、ほぼ正確な形状の描画が可能となった。

5. 結 言

5軸マイクロレーザー加工装置を開発し、微小な球面ターゲット上のパターンニングを試みた。ターゲットを回転軸に取り付ける時に生じる偏心誤差を補正するための手法を開発した。直径1.2mmの鋼球の表面上に経線・緯線及び C_{60} 様のパターンニングを施し、この補正の効果を実証した。

本稿では、この加工システムが球面上の微細なパターンニングに有効であることを示したが、最終目的は微小な立体形状の加工である。

参考文献

- 1) 河村 良行：電気学会研究会資料 OQD-95-57～63.
- 2) 河村 良行：レーザー研究 **24** (1996) 460.
- 3) 河村 良行, 豊田 浩一：レーザー研究 **23** (1995) 676.
- 4) R. J. Wallace, R. L. McEachern, and W. W. Wilcox: Inertial Confinement Fusion Quarterly Progress Report, Lawrence Livermore National Lab. **14** (1994) 79.
- 5) M. Murakami: Annual Progress Report '96, Institute of Laser Engineering.