

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17998

研究課題名(和文) 超音波援用MCF研磨による複雑微細形状の超精密仕上げ加工に関する研究

研究課題名(英文) Fundamental Investigation of Ultrasonic Vibration Assisted MCF (Magnetic Compound Fluid) Polishing for Micro-Precision Shape

研究代表者

野村 光由 (Nomura, Mitsuyoshi)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：70325942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：半導体や各種電子機器などの製造分野において微細加工の需要が増えてきている。また半導体や各種電子機器のさらなる極小化、多機能化により直径百 μm 以下の微小径工具による高精度の金型を高能率に作製する微細切削の要求が高まりつつある。しかし、微小径工具による微細切削では、高精度の表面粗さなどを実現するのが非常に困難であり、切削後のバリ取りやエッジの仕上げなどを行う必要性もある。本研究では、超音波振動を援用した磁気混合流体(MCF)研磨による高能率・高精度仕上げ加工を提案し、超音波援用MCF研磨を可能とする実験装置の試作と、その基本加工特性を評価した。その結果、超音波援用MCF研磨は有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research deals with the development of an ultrasonic vibration assisted MCF (Magnetic Compound Fluid) polishing technology for final polishing. This paper describes the fabrication of an experimental apparatus composed mainly of an ultrasonic polishing unit, and the experimental investigation of its performance in surface polishing. In addition, investigation of ultrasonic vibration assisted MCF polishing under different applied methods of ultrasonic vibration was also conducted. The experimental results indicate that applying ultrasonic vibration to the workpiece improves the surface roughness and the material removal rate when the ultrasonic vibrations are changed. In addition, over the range of polishing conditions employed in this paper, the precision surface roughness and high material removal rate can be easily obtained on the acrylic plate by using an elliptical vibration is applied to the ultrasonic vibration.

研究分野：機械加工

キーワード：超音波振動 磁気混合流体(MCF) 仕上げ研磨 表面粗さ 材料除去量

1. 研究開始当初の背景

半導体や各種電子機器などの製造分野において、部品の小型・軽量化のために微細加工の需要が増えてきている。また半導体や各種電子機器のさらなる極小化、多機能化により直径百 μm 以下の微小径工具(ドリル, エンドミル等)による高精度の金型を高能率に作製する微細切削の要求が高まりつつある。しかし、微小径工具による微細切削では、高精度の表面粗さなどを実現するのが非常に困難であり、使用する工具径によらず切削後のバリ取りおよびエッジの仕上げなどを行う必要性もある。このような背景の下で、微小径工具による微細切削後の複雑微細形状の加工面を高能率・高精度に仕上げる加工法が強く求められている。

2. 研究の目的

本研究では、超音波振動を援用した磁気混合流体(Magnetic Compound Fluid: MCF)研磨による高能率・高精度仕上げ加工を提案し、この新しい加工法の開発および実用化を目的とする。

3. 研究の方法

超音波援用 MCF 研磨を可能とする実験装置の試作と、その基本加工特性を評価する。

Fig.1 に加工原理を示す。実験に使用する MCF スラリーは、水ベースの磁性流体(Magnetic Fluid: MF)にカルボニル鉄粉を加えた MCF に、非磁性の砥粒と α -セルロースを混合したものである。永久磁石の下に間隔をあけて設置した非磁性アルミニウム板(以下 MCF キャリアと呼ぶ)下に、MCF スラリーを供給し、磁力保持させる。このとき、MCF スラリー中の非磁性の砥粒は、磁気浮揚現象などにより工作物側に押し出され、研磨における切れ刃として作用する。また、永久磁石を公転半径 d 、回転数 n_1 で公転させると、この動的挙動により、磁石公転に追従し粒子配列作用および集積作用に基づくクラスタの高い自己形状復元力が得られる。MCF キャリアと工作物間に加工間隔 Δ を設定し、MCF キャリアを回転数 n_2 で回転させることにより、砥粒が工作物表面を擦過し、研磨が施される。次に、設計・製作した超音波振動ユニットについて述べる。

Fig.2 に L1B2 型超音波振動ユニットの FEM(有限要素法)解析の結果を示す。この振動子は 2 極に分極された圧電素子(PZT)を金属(SUS304)弾性体上に接着させ、形状と寸法を縦 1 次(L1)と屈曲 2 次(B2)の振動数 f_{L1} 、 f_{B2} が同じになるように設計した。2 極の PZT に位相差が ψ で f_{L1} 、 f_{B2} の近傍にある周波数 f となる交流電圧 V_{p-p} を印加すると、振動子に縦 1 次振動と屈曲 2 次振動が同時に引き起こされ、両者の合成により振動子端面が楕円振動(L1B2)する。超音波振動ユニット端面に工作物を取り付けることにより、工作物に超音波振動を印加することが可能となる。Fig.3 に製

作した超音波振動ユニットにおける超音波振動の縦振動、屈曲振動と楕円振動の測定結果の例を示す。結果より、周波数 21.95kHz、位相差 110deg、印加電圧 150V_{p-p} で楕円振動を発生することを確認した。

Fig.4 に実験装置の外観写真を示す。本装置は、上記の加工原理を実現するために設計・製作した研磨ユニットと超音波振動ユニットから構成される超音波援用 MCF 研磨装置である。実験に使用する MCF スラリーの構成比および研磨条件を Table1 と Table2 に示す。

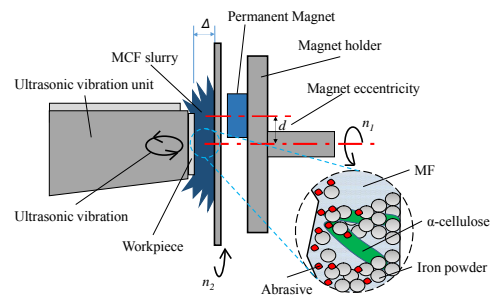


Fig. 1 Illustration of ultrasonic-vibration assisted MCF polishing principle

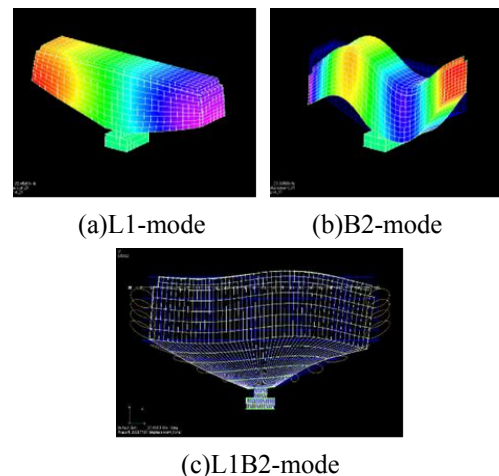


Fig.2 Illustration of L1B2 type ultrasonic vibration unit

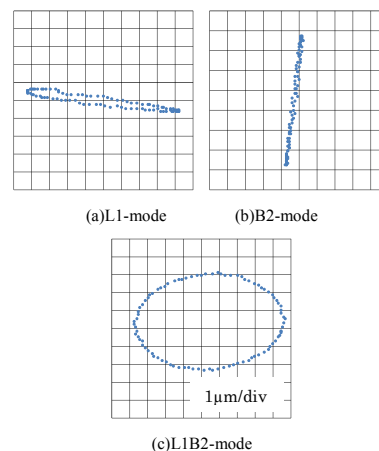


Fig.3 Ultrasonic vibration mode

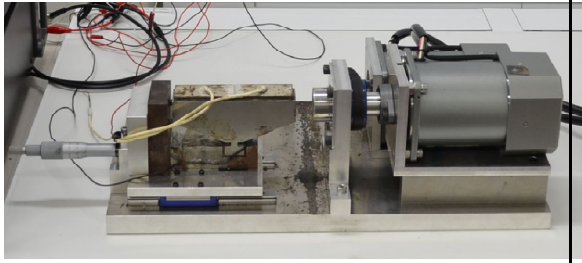


Fig.4 Photograph of the experimental apparatus

Table 1 Composition of MCF slurry

	Concentration [wt%]
Abrasive: diamond	12
Carbonyl Iron powder: CS	58
MF (MSG60)	27
-cellulose	3

Table 2 Polishing conditions

Ultrasonic vibration	Frequency f	21.95 kHz
	Applied voltage V_{p-p}	150 V
	Phase ψ	110deg
Magnet(Nd-Fe-B)	$B = 0.454T, \phi 6.5 \times 5 \text{ mm}$	
	Revolution radius $d = 5 \text{ mm}$	
	Rotational speed $n1 = 800 \text{ mm}^{-1}$	
Workpiece	Acrylic plate	
Supply of MCF slurry	0.7 ml	
Clearance A	0.5 mm	
Aluminum plate rotation	600 mm^{-1}	

4. 研究成果

Fig.5 に表面粗さの測定結果を示す。図より、研磨時間の増加にともない表面粗さは改善する。加えて、超音波振動を援用することにより、超音波振動を援用しない場合と比較して表面粗さが向上する。これは、超音波振動をワークに印加することで、MCF スラリー中の砥粒とワークとの相対速度が大きくなり、材料除去が促進され表面粗さが改善されたと考えられる。また、楕円振動を印加することで、表面粗さ Ra で 9.2nm の値を得られた。

Fig.6 に材料除去量の測定結果を示す。図より、研磨時間の増加にともない材料除去量は増加する。この結果は、表面粗さと異なり、超音波振動の種類によって材料除去量が変化することがわかった。しかし、金型の形状精度を維持しながら加工面を仕上げるのには、有効な加工特性である。

Fig.7 に研磨前と 30 分研磨後のワーク表面の観察結果を示す。結果より、超音波振動を援用することにより、研磨前のスクラッチが少なくなり、超音波振動を援用しない場合と比較して良好な加工面を得ることができた。

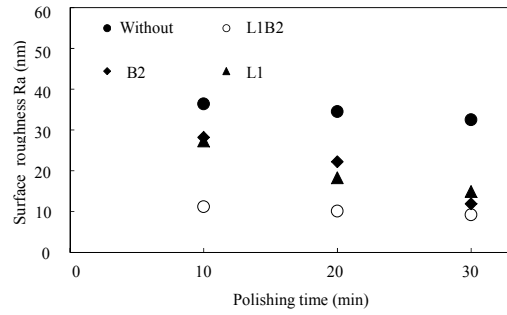


Fig.5 Surface roughness vs. polishing time

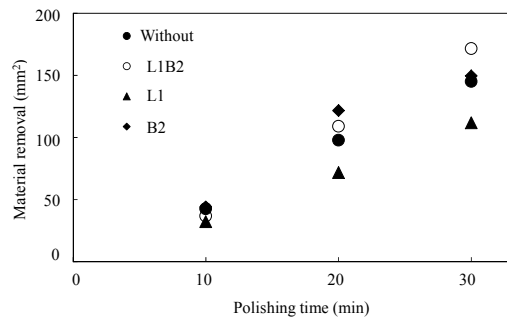
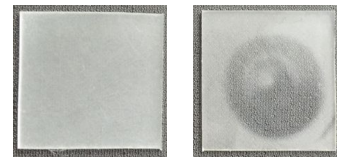
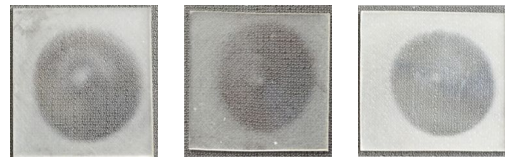


Fig.6 Material removal vs. polishing time



(a) Before (b) Without



(c) L1 (d) B2 (e) L1B2

Fig.7 Images of workpiece before/after polishing

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 超音波振動を発生できる超音波振動ユニットを設計・製作した。
- (2) 超音波振動ユニットと研磨ユニットから構成される超音波援用 MCF 研磨装置を試作した。
- (3) 超音波援用 MCF 研磨により、従来の MCF 研磨と比較して、表面粗さの改善や材料除去量の向上が大きくなることを明らかにした。

以上の結果より、超音波援用 MCF 研磨は有効である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

1. Nomura, M., Nojiri, K, Wu, Y and Fujii, T, Fundamental Investigation of Ultrasonic Vibration Assisted MCF (Magnetic Compound Fluid) Polishing, The 20th International Symposium on Advances in Abrasive Technology, Okinawa, Japan (2017.12).
2. 牧田直也, 野村光由, 藤井達也, 呉勇波, MCF (磁気混合流体)研磨における MCF スラリーの長寿命化-MCF スラリーの再利用の検討および, その研磨特性の評価-, 2017 年度砥粒加工学会学術講演会, 福岡工業大学 (2017.8).
3. 野尻健太, 野村光由, 呉勇波, 藤井達也, 超音波援用 MCF 研磨による基本加工特性の評価, 日本機械学会東北支部第 52 期総会・講演会講演論文集, pp. 109-110 (2017.3).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

秋田県立大学・システム科学技術学部・
准教授 野村 光由 (Nomura Mitsuyoshi)

研究者番号: 70325942