

令和元年6月8日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06002

研究課題名（和文）回転ガイドを用いた機能性セラミックスのワイヤ放電ミーリング加工の実現

研究課題名（英文）Realization of wire electrical discharge milling method for machining of functional ceramics using the reciprocating guide

研究代表者

後藤 啓光（GOTOH, HIROMITSU）

筑波技術大学・産業技術学部・准教授

研究者番号：90389718

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：放電創成加工法とワイヤ放電加工法やWEDG法の利点を併せ持つワイヤ放電ミーリング法を開発した。この加工方法では先端が半球状のワイヤガイドを使用する。本研究では、加工状態を安定化させるための方法について検討されている。補助電極処理方法の改良が実施され、新たな放電波形制御方式を適用することで、機能性セラミックスに対する安定加工が実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この加工手法では、従来の放電加工法では実現できなかった工具形状が変化しない形彫放電加工を実現できる。さらに、本研究では補助電極法を適用することで、放電が発生しないため加工の対象外と考えられてきた機能性セラミックスに対する加工を可能とする。当該材料に対する安定した加工が実現できれば、その工業的価値が極めて高くなる。

研究成果の概要（英文）：I developed a new method combining the advantages of ED-milling and WEDM/WEDG. It is named WED-milling (wire electrical discharge milling). In this method a wire guide with a hemisphere tip is used.

In this study, some method to stabilize a machining state was examined. The assisting electrode method was improved. Furthermore, a new electrical discharge wave form control system was applied, and the stable machining for functional ceramics was realized.

研究分野：生産工学

キーワード：セラミックス 補助電極法 放電加工

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

機能性セラミックスは高硬度、耐熱性、耐食性、耐摩耗性などに優れた材料として注目されている。そのため、金型の分野ではこのような材料の適用が望まれるが、高硬度であるがゆえに靱性が乏しく、加工時に「カケ」が生じやすい。そのため、目的とする形状を付与することは極めて困難である。このような機能性セラミックスに対する加工手法として、被加工物の硬度に直接的に依存することなく加工できる放電加工法が検討されるが、機能性セラミックスの多くは絶縁性であるため放電加工を適用することは不可能でと考えられてきた。

しかしながら現在では、『補助電極法』を適用することで、絶縁性の機能性セラミックスに対する放電加工が実現している¹⁾。

図1に補助電極法の概要、図2に加工例を示す。加工対象となる絶縁性材料の表面をあらかじめ導電性の材料（補助電極）で被覆し、原則として被加工物側の極性をプラスとして油中にて加工を行う。加工の進展に伴い、電気的絶縁体である被加工物の表面には導電性の被膜が形成され、加工が継続される。この補助電極法を適用することで、絶縁性材料に対する加工が実現するが、一方で、電極側の極性をマイナスとして加工を行うため、熱分解カーボンなどを利用して電極の消耗を抑えることが困難であるという問題点がある。

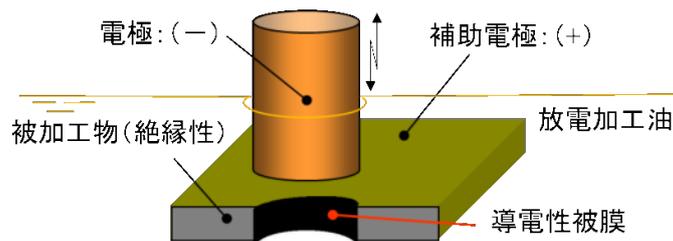
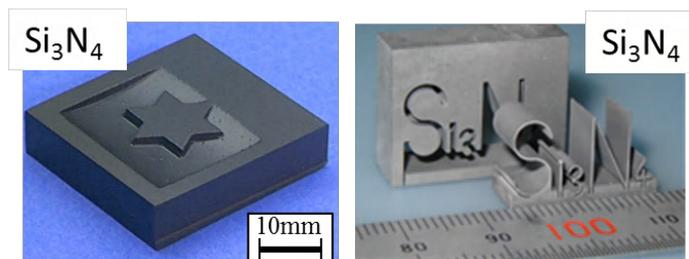


図1 補助電極法の概要



(a) 形彫放電加工例

(b) ワイヤ放電加工例

図2 セラミックスに対する放電加工例

2. 研究の目的

形彫放電加工では、電極消耗に起因する加工精度低下に対する対応として複雑形状の電極が多数必要となる。一方、放電創成加工では単純形状の電極を用いるため電極製作工程を省略できる。しかしながら、現在の放電創成加工では電極消耗に起因する精度の低下を補償しきれない。本研究では、電極の消耗を完全に無視することが出来るワイヤ放電ミーリング法²⁾を機能性セラミックスの放電加工に応用する。本研究で実施する回動ワイヤガイドによるワイヤ放電ミーリング法では、回動（かいどう）するガイドに拘束された走行ワイヤを切刃とするため、電極の消耗を考慮する必要がなく、工具運動の軌跡のみで理想的な形状加工が放電加工で実現できる。

3. 研究の方法

(1) 補助電極処理方法の検討

絶縁性セラミックスに対する放電加工を実現する為には、あらかじめセラミックス表面に導体化処理を施す必要がある。しかしながら、従来の処理方法では、セラミックスと導電性材料とが密着しない場合があった。このような場合には放電がセラミックス側に移行することが困難となり、加工が進展しない。そこで、導体化処理を施す再にあらかじめセラミックス表面に対してショットピーニング処理を施すことで、セラミックス表面と導電性材料とを密着させる手法を試みた。

(2) 加工の安定化の試み

絶縁性 Si_3N_4 セラミックスに対してワイヤ放電ミーリング加工を実施した際、加工中にワイヤ電極が断線に至る場合が多く発生した。加工面を光学顕微鏡で観察した結果、加工されずに残留したセラミックスが観察された。このようなセラミックスに対しては放電が発生しないため、導電性被膜が形成されずワイヤ電極とセラミックスとが接触し、ワイヤ電極が断線に至ったと

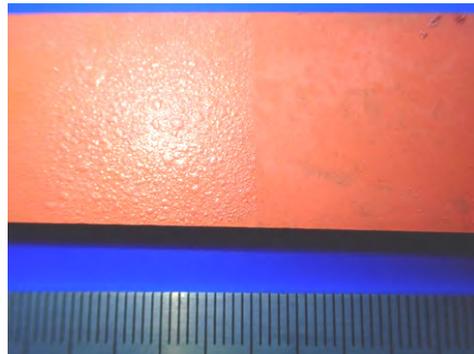
考えられる。そのため、安定した加工を実現するためにはセラミックス表面に安定した導電性被膜を形成することができる放電波形の制御方式が必要であると考えられる。そこで、より安定した加工を実現させるための手法についての検討を行なった。

加工を安定させる手法として放電波形の安定化を試みた。導電性被膜の形成は長パルス放電の発生によって表面に形成されると考えられている¹⁾。この長パルス放電は、放電の発生を検出するための放電検知電圧の設定値より、放電が発生した際の極間電圧の値が高い場合に発生する。そのため、表面の導電性被膜の形成状態によってパルス幅が大きく変化してしまう。そこで、放電検知電圧の設定を極端に高く設定することにより、放電発生の検出を確実にし、その上で、設定の放電持続時間を長パルス放電と同等な長さに設定し、加工を試みた。

4. 研究成果

(1) 補助電極処理方法の検討

銅によるセラミックス表面の導体化処理を行なった結果を図3に示す。左側は従来の処理方法を実施したもの、右側はショットピーニング処理を施した状態で導体化処理を行なった。従来の処理方法ではふくれが観察されるが、ショットピーニング処理を行なった場合、ふくれの発生を抑制できていることが分かる。



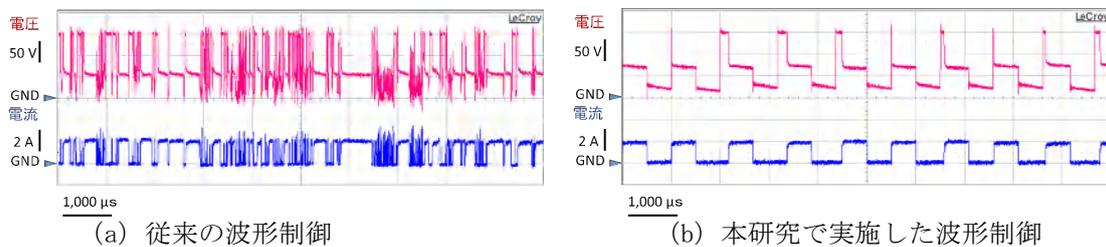
左：従来の処理方法 右：ショットピーニング処理の追加

図3 補助電極処理を施したセラミックス表面

(2) 加工の安定化の試み

加工中に観察される放電波形の例を図4に示す。(a)に示すように従来の波形制御方式で加工を実施した場合、設定した放電時間(4 μ s)に対して、それ以上の時間、放電が継続する長パルス放電が多く観察される。一方、(b)に示すように本研究で実施した波形制御方式で加工を行なった場合には、放電時間を一定に保つことが出来ている。

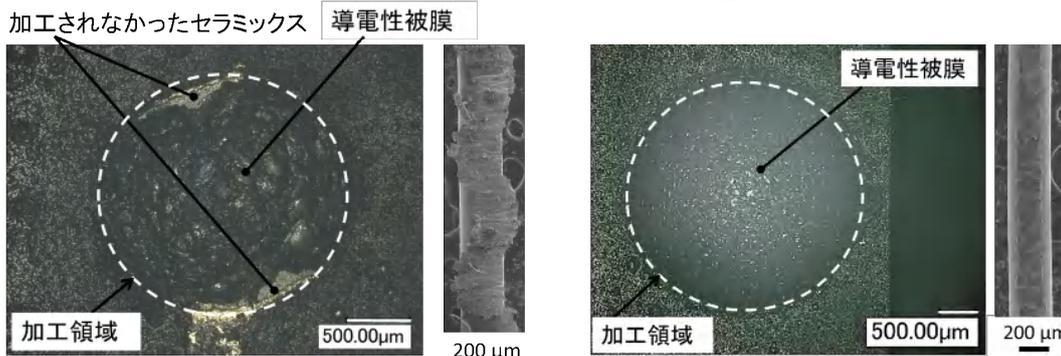
図4で示した波形制御方式を使用し、加工を行なったときの加工面及び使用後のワイヤ電極の様子を図5に示す。(b)に示すように加工されなかったセラミックスが無くなり、加工面には導電性被膜が形成されていることがわかる。



(a) 従来の波形制御

(b) 本研究で実施した波形制御

図4 加工中に観察される代表的な放電波形



(a) 従来の波形制御

(b) 本研究で実施した波形制御

図5 補助電極処理を施したセラミックス表面

<引用文献>

- ① 毛利尚武, 福澤康: 絶縁性セラミックスの放電加工, セラミックス, Vol. 37, No. 10, pp789-792, (2000)
- ② H.Gotoh, T.Tani, M.Okada, A.Goto, T.Masuzawa, N.Mohri: Wire electrical discharge milling using a wire guide with reciprocating rotation, Procedia-CIRP Annals-Manufacturing Technology Vol.6(2013) pp.199-202,(2013)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Hikomitsu Gotoh, Keita Kanno, Takayuki Tani, Yoshiaki Akematsu and Naotake Mohri, Rivet Fastening Process for Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (CFRTP) under Ultrasonic Vibration. - Micro Hole Machining of CFRTP, Procedia CIRP 68 (2018) 、 pp.456-459、査読有
2. Tani Takayuki, Yoshiki TSUJITA, Hikomitsu GOTOH, Masaaki OKADA and Naotake MOHRI, Observation of Material Removal Process by Single Discharge in Air Gap, Procedia CIRP 68 (2018)、 pp.276-279、査読有
3. Atsutoshi HIRAO, Hikomitsu GOTOH, Takayuki TANI, Some Effects on EDM Characteristics by Assisted Ultrasonic Vibration of the Tool Electrode, Procedia CIRP 68 (2018)、 pp.76-80、査読有
4. 谷貴幸、辻田容希、後藤啓光、毛利尚武、 気中単発放電における材料除去過程の観察、 電気加工学会、52 巻、129 号、pp.31-37 (2018) 、 査読有
5. 後藤啓光、ワイヤ放電ミーリング加工法の開発、 電気加工学会、 52 巻、131 号、 pp.178-181 (2018) 、 査読有
6. 谷貴幸、後藤啓光、 補助電極法による絶縁性セラミックスの放電加工、 電気加工学会、 51 巻、126 号、 pp.106-112 (2017)、 査読無
7. 後藤啓光、谷貴幸、毛利尚武、絶縁性 Si₃N₄セラミックスの放電加工における導電性被膜の形成メカニズムに関する一考察、 電気加工学会、50 巻、124 号、 pp.112-118 (2016) 査読無
8. T. Tani, H.Gotoh, A.Hirao, N. Mohri, Simultaneous machining of polygonal microelectrode and microholes using tandem EDM mechanism, Procedia-CIRP Annals-Manufacturing Technology Vol.42(2016)、 pp.521-525、 査読有
9. H.Gotoh, T. Tani, N. Mohri, EDM of insulating ceramics by electrical conductive surface layer control, Procedia-CIRP Annals-Manufacturing Technology Vol.42(2016)、 pp.201-205、 査読有

[学会発表] (計 12 件)

1. 後藤啓光、谷貴幸、平尾篤利、毛利尚武、 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング加工法の開発-超硬合金に対する貫通穴加工-, 電気加工学会全国大会 (2018) 講演論文集、 pp55-56、 (2018)
2. 谷貴幸、後藤啓光、平尾篤利、毛利尚武、 放電加工におけるカーボン付着メカニズムの解明、 電気加工学会全国大会 (2018) 講演論文集、 pp39-40、 (2018)
3. 谷貴幸、後藤啓光、平尾篤利、毛利尚武、 放電加工における材料除去およびカーボン付着メカニズムの一考察、 第 12 回 生産加工・工作機械部門講演会、 B 09
4. 後藤啓光、谷貴幸、平尾篤利、毛利尚武、 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング加工法の開発-トランジスタ制御付コンデンサ放電回路の適用-, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、 p. 341
5. 平尾篤利、後藤啓光、谷貴幸、 減圧雰囲気放電加工表面に及ぼす影響、 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、 pp. 339-340
6. 谷貴幸、辻田容希、後藤啓光、毛利尚武、 気中単発放電における材料除去過程の観察、 電気加工学会全国大会 (2017) 講演論文集、 pp83-88、 (2017)
7. 菅野啓太、後藤啓光、谷貴幸、明松圭昭、毛利尚武、 熱可塑性 CFRP の加工に関する研究-超音波穿孔加工における試料表面温度の測定-, 電気加工学会全国大会 (2017) 講演論文集、 pp39-40、 (2017)
8. 金子健正、牛腸歩駆人、池田富士雄、後藤啓光、谷貴幸、 デュアルサーボ送り機構による微細深穴放電加工、 電気加工学会全国大会 (2016) 講演論文集、 pp. 47-48 (2016)
9. 辻田容希、谷貴幸、後藤啓光、毛利尚武、 単発放電による材料除去過程の観察、 電気加工学会全国大会 (2016) 講演論文集、 pp. 43-44 (2016)
10. 後藤啓光、谷貴幸、明松圭昭、菅野啓太、毛利尚武、 熱可塑性 CFRP の加工に関する研究-超音波穿孔加工の試み-, 電気加工学会全国大会 (2016) 講演論文集、 pp. 19-20 (2016)
11. 金子健正、牛腸歩駆人、池田富士雄、後藤啓光、谷貴幸、 デュアルサーボ送り機構を用いた微細放電加工、 2016 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会、講演論文集、 A12

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：熱可塑性樹脂複合材料の加工方法、結合方法及び加工装置並びに熱可塑性樹脂複合材料

発明者：後藤啓光，谷貴幸

権利者：国立大学法人筑波技術大学

種類：特許

番号：特願 2017-226133

出願年：平成 29 年

国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：谷 貴幸

ローマ字氏名：(TANI, takayuki)

研究協力者氏名：武沢 英樹

ローマ字氏名：(TAKEZAWA, hideki)

研究協力者氏名：毛利 尚武

ローマ字氏名：(MOHRI, naotate)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。