

令和元年6月17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：16K06794

研究課題名(和文) 放電現象を利用した金属3D造形法の研究

研究課題名(英文) Development of metal 3D modeling method using electrical discharge phenomena

研究代表者

谷 貴幸 (tani, takayuki)

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号：80279554

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)：本研究では、安価な金属3Dプリンターを開発することを目的として、細線電極への放電によって溶融した金属を堆積させる手法を提案した。放電による細線の溶融領域を限定させるために、2ヶ所への同時放電が可能な装置を構成した。この結果、任意の量の金属を溶融させることが可能となり、これを基材上へ堆積させることに成功した。また、薄肉のパイプ電極を用いた放電加工法によっても、金属材料を堆積させることが可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、粉末床溶融結合、結合剤噴射とった高出力レーザーと金属粉末との組み合わせによる金属材料の積層方法の研究開発が盛んに行われている。しかし、これらの方法は、装置も大型で価格も非常に高い。本方法では、スイッチング回路を用いた放電によってのみ任意の量の金属を溶融させており、安価な金属3Dプリンターとなる可能性がある。また、タングステンといった高融点材料でも適用できることから、ターゲットとする材料の範囲も広く、3Dプリンターの新しい基本機構となる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to develop an inexpensive metal 3D printer, we proposed a method to deposit molten metal by discharge to thin wire electrodes. In order to limit the melting area of the thin wire by discharge, we constructed an apparatus capable of simultaneous discharge to two places. As a result, it became possible to melt a fixed amount of metal, which was successfully deposited on the substrate. It was also confirmed that metal material can be deposited also by electrical discharge machining using a thin-walled pipe electrode.

研究分野：生産工学

キーワード：放電加工 3Dプリンター 細線電極

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

3Dプリンターは、試作向けの装置から実製品の製造装置へと進化しつつあり、製造業界は新たなフェイズへと移行している。その一例として、従来までの樹脂を用いた積層造形から、粉末床熔融結合、結合剤噴射、溶接肉盛とった金属材料を対象とした積層方法の研究開発が盛んに行われている。しかし、これらの方法は、装置も大型で価格も非常に高い。また、金属粉末の結合力が十分ではない場合も指摘されている。

安価な3Dプリンターとしては、熱可塑性樹脂を用いた材料押出型の3Dプリンターがある。このプリンターは、造形する樹脂をヒータ内蔵の可動ヘッドから吐出するシンプルな構造あり、低価格が実現している。

2. 研究の目的

本研究では、基本的にはこの機構をベースとした金属3Dプリンターの開発を目的としている。樹脂を金属細線、熱源のヒータを放電として、放電によって熔融された金属を基材上に移行・堆積させる。また、アーク柱を滑らせながら、基材を消耗させずにパイプ電極を消耗させながら金属材料を堆積させる方法についても検討した。

3. 研究の方法

(1) 細線繰り出し電極

本方法の基本的な概念図を図1に示す。基材上方に設置された細線は、絶縁工具により保持し、順次繰り出せる機構とする。細線の側面に電極を配置し、電極 - 細線間および細線 - 基材間に同時に放電を発生させる。この場合の細線の電流路は、図に示した点線の箇所限定される。2ヶ所のギャップを介した放電によって、図示するような電流路となることは、マルチスパーク放電加工などによって実証されている。細線に高電流が流れることによって、電流路となる細線は熔融状態となり、これと同時に基材も放電によって熔融状態となる。この状態を実現することによって、基材の熔融池に熔融金属を溶着させる。

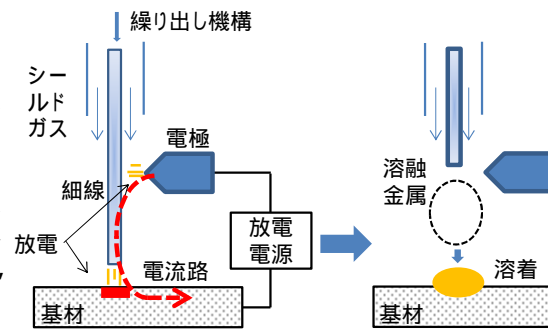


図1 放電による細線電極熔融・溶着法概念図

(2) 薄肉パイプ回転電極

電極間的高速相対移動によって放電中のアーク柱を滑らせ、堆積を主体とした放電状態を実現し、堆積加工を実施した。実験としては、電極に薄肉パイプを用いて、これを高速で回転させる。電気条件を整えれば、アーク柱はパイプ側に連れ回され、加工表面を滑るように走る。これによって、基材側には加工されるほどの熱は投入されずに、薄肉のパイプ側のみが消耗し、これによってパイプ成分が基材側へと移行する。この状態において、電極に走査運動等を加えることによって、任意の形状を堆積させる。

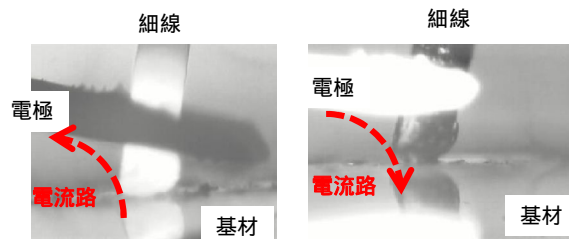


図2 電気条件による熔融状態の違い

4. 研究成果

(1) 構想した内容の実現の可能性を検討するために、手動ステージを用いた簡易的な装置を構成し、これに放電加工用のコンデンサ電源を接続し、放電実験を実施した。実験により、電極 - 細線 - 基材間の2箇所ギャップを介した放電が発生することは確認することができた。

この条件にて、極性が材料の熔融に及ぼす影響を調べた。結果を図2に示す。左図は、電流の流れが、基材から細線を介して電極

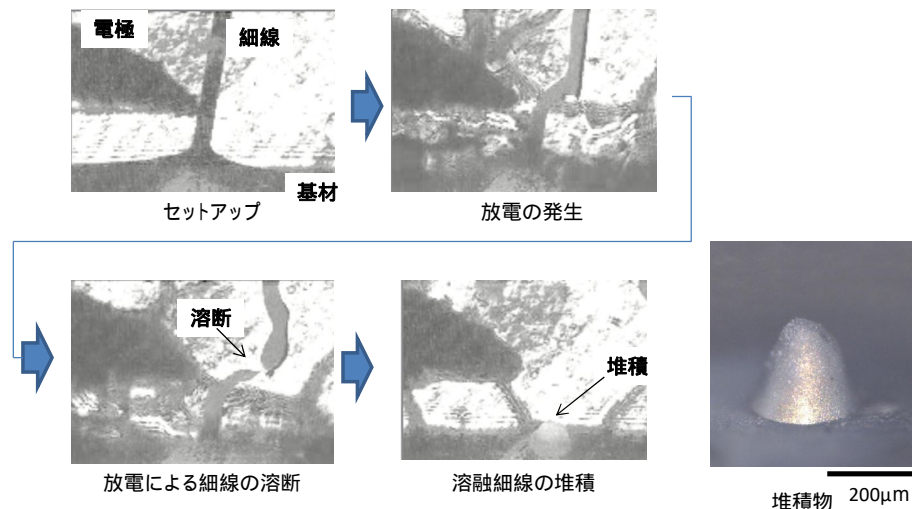


図3 堆積過程の撮影結果

側に流れた場合である。右図は、電流の流れを逆とした場合である。基材から流れる場合において、細線が放電によって赤熱することが明らかとなった。極性を逆にすると、目的とする細線

は赤熱せずに、電極が赤熱した。よって、本加工を実現するためには、基材側を陽極とした条件が効果的であると考えられる。なお、継続して放電を実施すると、細線はさらに加熱され、線爆現象のような挙動を示し、金属が材料表面に強固に堆積する現象が確認され、放電による熔融金属の堆積に成功した(図3)。

(2) 電極が相対運動している条件下では、放電中にアーク柱が滑ることが報告されている。アーク柱が材料表面を滑ることによって、融点まで達する領域が極端に減少し、材料は除去されにくくなる。この現象を確認するため、銅パイプ電極(5mm, 肉厚0.2mm)を高速回転させ、一周に相当する時間のパルス幅での放電を実施した。結果を図4に示す。なお、極性の条件は、パイプ電極を陰極、加工物を陽極とした。

パイプの円周上に材料が溶融した跡が観察されるが、一般的に知られているクレータ状の放電痕は観察されない。これは陽極表面をアーク柱が滑った結果であると考えられる。同図に示した表面プロファイルから、加工面は盛り上がった状態となっている。この条件下で走査加工を適用すれば、任意の領域に任意の材料を堆積させることが可能となると思われる。

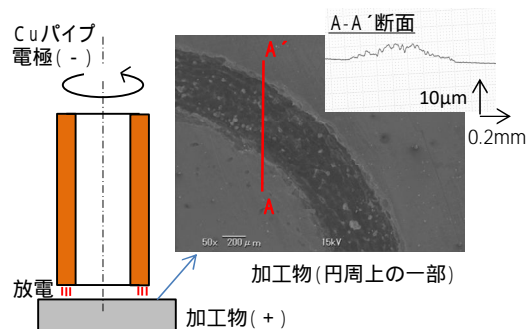


図4 アーク柱の滑りによって形成された加工面

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

Atsutoshi Hirao, Takayuki Tani, Hiromitsu Gotoh, Shoju Aoshima, Naotake Mohri, Study of deposition machining using electrical discharge with reciprocating rotation in air gap, International Journal of Electrical Machining, 査読有, 21, 2016, 1-6

T. Tani, H. Gotoh, A. Hirao, N. Mohri, Simultaneous machining of polygonal microelectrode and microholes using tandem EDM mechanism, Procedia-CIRP Annals-Manufacturing Technology, 査読有, 42, 2016, 521-525

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, 電気加工学会誌, 査読有, 50 巻 124 号, 2016, 112-118

Atsutoshi Hirao, Takayuki Tani, Hiromitsu Gotoh, Some Effects on EDM Characteristics by Assisted Ultrasonic Vibration of the Tool Electrode, Procedia-CIRP, 査読有, 68, 2018, 76-80.

Tani Takayuki, Yoshiki TSUJITA, Hiromitsu GOTOH, Masaaki OKADA, Naotake MOHRI, Observation of Material Removal Process by Single Discharge in Air Gap, Procedia-CIRP, 査読有, 68, 2018, 276-279.

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, 電気加工学会誌, 査読有, 52 巻 129 号, 2018, 31-37

[学会発表](計15件)

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

平尾篤利, 谷貴幸, 毛利尚武, 高速回転工具を用いた高アスペクト比の微小径穴加工, 日本機械学会第 11 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 2016, 87-88

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, 2016, 43-44

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, 2016, 47-48

堅田梨紗, 平尾篤利, 谷貴幸, 放電加工法における高速回転電極が表面におよぼす影響, 2017 年度精密工学会北信越支部学術講演会 U S B 形式講演論文集, 2017, C2

平尾篤利, 谷貴幸, 複合加工法を用いた細穴加工の試み, 2017 年度精密工学会北信越支部学術講演会 U S B 形式講演論文集, 2017, C3

大谷大, 平尾篤利, 谷貴幸, 減圧雰囲気下における放電加工特性, 2017 年度精密工学会北信越支部学術講演会 U S B 形式講演論文集, 2017, C4

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, 2017, 39-40

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, 2017, 83-88

野口敬祐, 平尾篤利, 谷貴幸, 放電加工におけるプラズマの滑り現象が表面改質におよぼす影響, 2018年度精密工学会北信越支部学術講演会USB形式講演論文集, 2018, A11

大輪拓, 平尾篤利, 谷貴幸, 工具電極の振動周波数が加工特性へおよぼす影響, 2018年度精密工学会北信越支部学術講演会USB形式講演論文集, 2018, A12

平尾篤利, 後藤啓光, 谷貴幸, 単パルス放電のプラズマ滑り現象が表面に及ぼす影響, 日本機械学会, 第12回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 2018, B06

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, 日本機械学会第12回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 2018, B09

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, 2018, 39-40

後藤啓光, 谷貴幸, 平尾篤利, 毛利尚武, 回動ワイヤガドを用いた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, 2018, 55-56

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名: 毛利尚武

ローマ字氏名: MOHRI, naotake