

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630020

研究課題名(和文)透明体電極を用いた可視化による電気加工現象の解明

研究課題名(英文)Clarification of electrical machining phenomena by direct observation of working gap through transparent electrodes

研究代表者

國枝 正典(Kunieda, Masanori)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90178012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：SiC単結晶やGa203単結晶など、導電性があり透明な材料を電極として用いて、放電加工や電解加工の加工現象の観察を行った。放電加工で発生する気泡と放電位置の観察を行い、気中、液中、気液境界で生じる放電の確率を比較した。また、連続して生じる放電の位置の規則性について調べ、加工の安定性との関連を解明した。また、電解加工については、静止液中で沸騰が生じずに電流が供給できる限界のパルス幅は5ms程度であることを明らかにした。また、噴流によりキャビテーションが生じ、加工精度を低下させる場合があること、さらに工具電極の回転による遠心力で気泡が回転中心に凝集し、中心軸上で加工が生じにくくなる現象を解明した。

研究成果の概要(英文)：Using optically transparent and electrically conductive electrodes made of SiC or Ga203 single crystals as the electrode material, the working gap phenomena of electrical discharge machining (EDM) and electrochemical machining (ECM) were observed directly. The probabilities of discharge occurrence in bubble and dielectric liquid, and at their boundaries were investigated. Relationship between the locations of discharges which occur successively was obtained to elucidate its influence on the machining stability. Furthermore, it was found that the limit of pulse duration within which machining can be performed without boiling of the electrolyte is around 5ms. Jetting the electrolyte into the gap from the hollow space of the pipe electrode may cause cavitation, resulting in deteriorated machining accuracy. Rotation of the electrode may cause concentration of bubbles at the center of rotation due to centrifugal force, thereby workpiece is left unmachined at the center.

研究分野：電気加工

キーワード：放電加工 電解加工 透明体電極 可視化 高速度ビデオカメラ 加工現象 加工液 気泡

1. 研究開始当初の背景

放電加工、電解加工の加工現象は、加工間隙が狭く、かつ加工液中での現象であり、パルス電流による過渡現象をともなう。従って直接観察が困難であり、未解明な現象が多い。例えば、放電加工においては、加工面上で放電点がランダムに分布することが安定な加工の必須条件である。電解加工では、陽極側の金属が溶出し、不溶性の酸化物スラッジとなる。また、陰極上では水素が発生する。これらは加工が進むべき部分での電解液の導電性を阻害し、電流密度を低下させ、加工が進んで欲しくない部分に電流が流れて加工精度が低下する。よって、加工特性の向上のためには加工間隙の可視化が必要である。

2. 研究の目的

導電性があり、かつ可視光域で透明である材料、例えば単結晶 SiC や単結晶 Ga_2O_3 を電極に用いて、放電加工と電解加工の加工間隙の可視化を行い、従来説明が困難であった加工現象を明らかにする。陽極、あるいは陰極の一方に単結晶 SiC を用い、それに対向する電極材料には金属を用い、平行平板間で生じる加工現象を、透明体電極を通して電極面に垂直な方向から観察する。電圧・電流パルスに同期し、高速度カメラを使用して、極間で生じる放電、気泡、加工屑などを観察し、除去メカニズムの解明や、加工の安定不安定の原因の解明、加工条件が極間現象に及ぼす影響などを調べる。これによって、放電加工や電解加工の加工速度、仕上げ面粗さ、加工精度などを向上するために必要な知見を得て、加工特性向上のための具体的な方法を考案することを目的とする。

3. 研究の方法

図1に示すように、板状の透明体電極と銅電極を加工液中で平行に対向させて放電加工を行い、透明体電極を通して高速度ビデオカメラにより極間現象を直接観察した。放電加工の場合は加工液に放電加工油、あるいは脱イオン水を用い、電解加工の場合は NaCl や NaNO_3 水溶液を用いた。

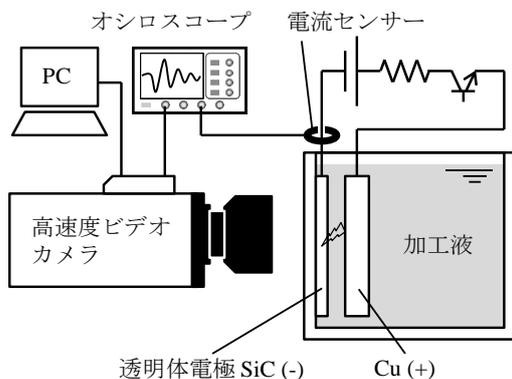


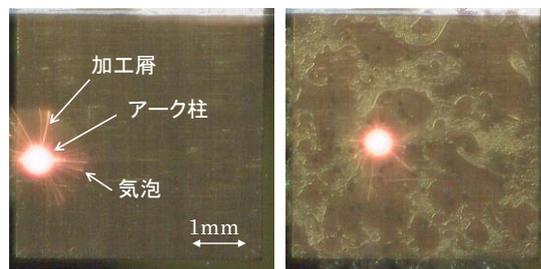
図1 加工間隙の観察方法

4. 研究成果

(1) 放電加工の加工間隙の観察

図2は高速度ビデオカメラを用いて、5mm角の放電面を観察した結果である。加工間隙が加工油で満たされた中で生じる第1回目の放電の結果、気泡が約3mmの直径に拡がり、その中を加工屑が飛散する様子が撮影できている。数十 μm 足らずのギャップ長と比較して、気泡直径が意外に大きいことが分かる。従来の放電加工間隙の模式図では、小さな球状の気泡が浮遊しているように描かれているが、それは間違いであることが分かる。また、アーク柱直径が0.6mm近くあり、従来の細長く描かれた想像図は間違いで、アーク柱は平たい円盤状であることが分かる。そして、わずか0.03秒後には、加工間隙のほとんどが気泡で満たされていることが分かる。この状況は、周囲に置いたノズルから加工液を噴流してもほとんど変化しない。工具電極にジャンプ動作を加え、ギャップ長が拡大した瞬間に噴流がなされて、やっと加工液をギャップ中に供給できる。

よって、放電が生じる箇所は液中とは限らない。放電は気中でも発生し、特に気泡の周囲で生じる確率が高い。その理由は図2から分かるように、加工屑が気泡中を飛散し、気泡の外周で止まり、気液境界に高い加工屑濃度の分布が生じるからである。従って、放電が生じる位置は、直前の放電で生じた気泡の外周上である確率が高い。



(a) 放電1回目(0秒) (b) 放電100回目(0.03秒後)

図2 放電加工現象の観察 (放電電流 10A, 放電持続時間 10ms, Cu(+), SiC(-))

(2) 電解加工の加工間隙の観察

図3は NaNO_3 水溶液 (5wt%) の静止液中で、極間電圧 30V (直流) を印加したときの気泡の発生を観察した結果である。Joule 発熱を考慮した解析より、10ms 以内に加工液は沸点に達し、加工間隙は水素だけではなく水蒸気で満たされることが分かった。したがって、静止液中では数 ms 以上のパルス幅では安定した加工が行えないことが裏付けられた。

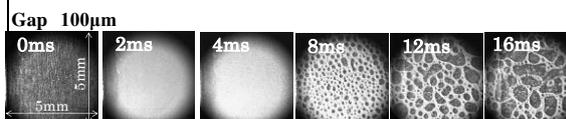


図3 静止液中での気泡発生を観察

そこで、電極に開けた穴から電解液 (NaCl 5wt%水溶液) を噴流させた場合の加工間隙を観察した (図 4)。陰極面上で発生する水素気泡が放射状の流れとともに排出される様子が見て取れる。しかし、放射状の噴流中の圧力が大気圧に対して負圧となるため、流量が大きすぎるとキャビテーションが生じることが分かった。このような条件下で加工を行うとキャビテーションで生じた気泡に接した工作物は加工されないため、加工精度が低下する要因となることが分かった。

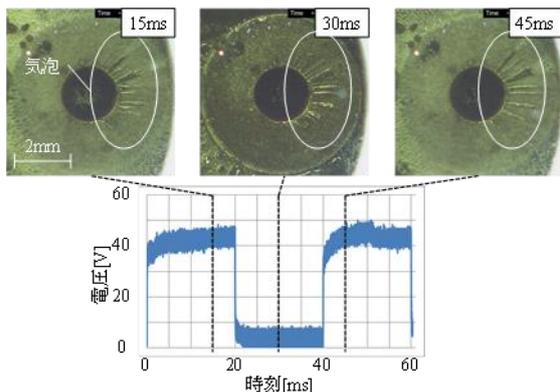


図 4 電解液噴流下でのキャビテーションの発生 (電流:10A, 加工間隙:50 μ m, 流量:6ml/s)

次に、陽極に直径 6mm の円柱状の S45C を用い 3000rpm で回転させた。加工電流は 4A, パルス幅は 50ms, デューティは 50%である。その結果、図 2 に示すように気泡が回転中心に集まり、合一によって大きな気泡が中心に滞留する様子が観察できた。それにともない、600 パルスの印加後に、陽極の端面の形状が平坦ではなく凸状に加工された。回転をしない場合の方がむしろ均一に加工される。これは、遠心力により気泡が中心に集まり、中心部で電流が流れにくくなることに起因する。従って、電極の回転が加工精度の低下をもたらす場合があることが明らかとなった

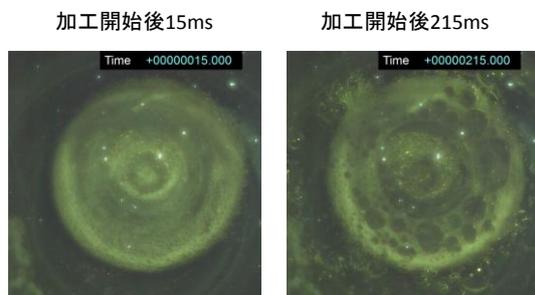


図 5 遠心力により回転中心で合一した気泡の観察

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 4 件)

- (1) Azumi Mori, Tomoo Kitamura, Masanori Kunieda, Direct Observation of Multiple Discharge Phenomena in EDM using Transparent Electrodes, IJEM, 20, 53-58 (2015).
- (2) Tomoo Kitamura, Masanori Kunieda, Observation of relationship between bubbles and discharge locations in EDM using transparent electrodes, Precision Engineering, 40, 26-32 (2015)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2014.09.009>
- (3) Tomoo Kitamura, Masanori Kunieda, Clarification of EDM Gap Phenomena Using Transparent Electrodes, CIRP Annals, 63, 1, 213-216 (2014).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.059>
- (4) Wenhao Zhang, Tomoo Kitamura, Masanori Kunieda, Kohzoh Abe, Observation of ECM Gap Phenomena through Transparent Electrode, IJEM, 19, 40-44 (2014).
<http://ci.nii.ac.jp/naid/130004709079>

[学会発表] (計 5 件)

- (1) Azumi Mori, Masanori Kunieda, Kohzoh Abe, Observation of wire EDM using transparent electrode, 6th ASPEN (2015, Aug 15-20) (Harbin, China)
- (2) T. Shimasaki, T. Kitamura, M. Kunieda, Fundamental Study of ECM Gap phenomena Using Transparent Electrode, Proc. of the 10th International Symposium on ElectroChemical Machining Technology (INSECT 2014) in Saarbrucken, 135-143 (2014, 11. 14) (Saarbrucken, Germany)
- (3) Tomoo KITAMURA, Masanori KUNIEDA and Kohzoh ABE, Comparison of Gap Phenomena between EDM in Oil and Deionized Water Using Transparent Electrodes, 15th ICPE in Kanazawa, 9-12 (2014. 7. 24) (日航ホテル、石川県金沢市)
- (4) Observation of Arc Plasma in EDM Using Transparent Electrodes, Tomoo Kitamura, Masanori Kunieda, Kohzoh

Abe, ASPEN2013 in Taiwan (2013. 11. 14) (Taipei, Taiwan).

- (5) High-speed imaging of EDM gap phenomena using transparent electrodes, T. Kitamura, M. Kunieda, K. Abe, Procedia CIRP 6, PROCIR438, 26-MAR-2013, pp. 315-320 (2013. 4. 10) (Leuven, Belgium)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

國枝 正典 (Kunieda Masanori)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：90178012

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし