

電解加工等価回路のパラメータに及ぼす加工条件の影響

東京農工大学, ○永島直晃, ◎夏恒

要旨

本研究では、電解加工の極間現象を解明するために等価回路を用いたパラメータ同定を行っている。異なる材質の電極を用いることで陽極と陰極の判別を行った。また、電解加工の実験条件を変化させることにより加工条件がパラメータに及ぼす影響を調べた。

1. 緒言

電解加工の加工精度と加工速度に影響を与える要因を解明するには、等価回路を用いた解析が有効である。秋元ら¹⁾はパラメータ同定方法を考案し、抵抗値やコンデンサ容量の値を決定する同定作業を遺伝的アルゴリズムで行った。しかし、陽極と陰極の材料に同じ材料が用いられているので、同定結果である各パラメータは陽極、陰極のどちらのものであるか判別できていない。そこで、本研究では、陽極と陰極の材質の組み合わせを変化させ、陽極、陰極の各パラメータを区別し、電解加工等価回路のパラメータを同定し、最終的に等価回路を用いて加工速度に影響を与える因子を調べ、加工特性を向上させる加工条件を見出すことを目的とする。

2. 電解加工等価回路と実験装置

本研究で用いる電解加工の概略図を図1、等価回路モデルを図2に示す。図2のA部は陽極と電解液の界面、B部は電解液、C部は陰極と電解液の界面を表す。Ra, Rc はそれぞれ陽極と陰極の電荷移動抵抗であり、電極と電解液の反応のしにくさを表す。Rs は電極間の電解液の溶液抵抗、Ca, Cc は陽極と陰極の界面で形成される電気二重層を表すコンデンサ容量であり、Ra, Rc 両端の電圧の上昇速度に影響を与える。

本研究では図1に示す電解加工セルにパルス電圧を印加した場合に回路に流れる電流の波形を測定する。また、図2の等価回路の各パラメータの値を仮定して解析により電流波形を求め、実験結果と解析結果の比較により、パラメータを同定する。電解セルの実験装置の概略を図3に示す。両電極にはφ1 mmの金属丸棒を使用した。極間距離の調節は陽極と陰極の間にテフロンシートを挟み、光学顕微鏡で観察しながらネジの締め付け具合で調節する。実験時には両電極の間に加圧した電解液を通過させる。実験条件を表1に示す。

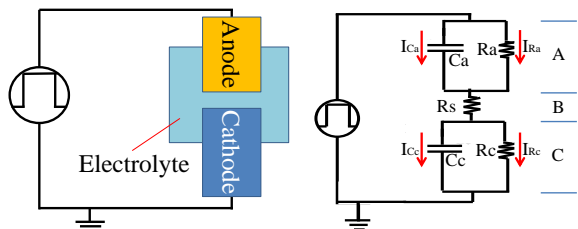


Fig.1 Schematic of ECM

Fig.2 Schematic of electrolysis

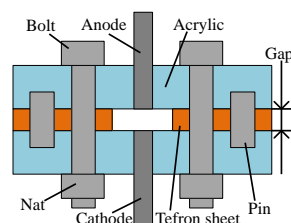


Fig.3 Experimental instrument

Table.1 Experiment condition

Electrolyte	5~15wt%NaNO ₃ aq
Voltage	5~15 V
Gap	100 μm
Pulse on-time	50 μs
Pulse off-time	950 μs

3. 陽極、陰極の判別

従来のパラメータの同定結果は、等価回路上のRaとRc, CaとCcが入れかわったとしても成り立っていたので、陽極と陰極のパラメータを区別できなかった。そこでφ1 mmの銅電極とステンレス電極を用いることで、陽極と陰極の材料の組み合わせを変化させ、陽極、陰極の判別を行った。

実験は、①両電極をステンレス電極とした場合、②両電極を銅電極とした場合、③陽極を銅電極、陰極をステンレス電極とした場合、④陽極をステンレス電極、陰極を銅電極とした場合の4通りの組み合わせで行い、印加電圧を変化させて行った。各組合せにおいて同定した電荷移動抵抗のうち、大きい値を持つものをR1、小さい値を持つものをR2とした。

パラメータ同定した電荷移動抵抗について、上記①と③の結果を

図4(a)に、①と④の結果を図

4(b)、②と③の結果を図4(c)、

②と④の結果を図4(d)にそれぞれ示す。添え字はsがス

テンレス電極、cが銅電極で

あり、左が陽極の材質、右が

陰極の材質を示す。例えば、

「R1 s-c」は陽極にステンレ

ス、陰極に銅を用いた組合せ

で同定した二つの電荷移動

抵抗の中の値の大きい抵抗

である。

図4(a)は、陰極は同一材料

のステンレスを用いており、

同定結果が近い値をとり、陽

極はステンレスと銅をそれ

ぞれ用いているので、同定結

果がずれた値をとると考え

られる。図より、R2 s-sは近

いので、陰極の電荷移動抵

抗と見なすことができる。

従って、R1 s-sとR1 c-sはそ

れぞれステンレスと銅の陽

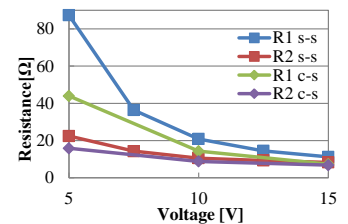
極の電荷移動抵抗であると

判断できる。また、図4(b)

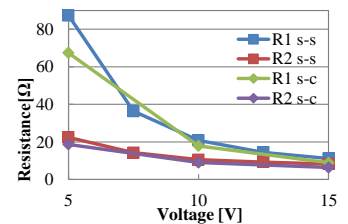
と(c)は、陽極は同一材料で、

同定結果が近い値をとり、陰

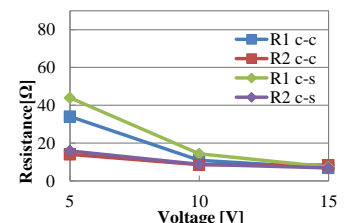
極は異なる材料で同定結果が異



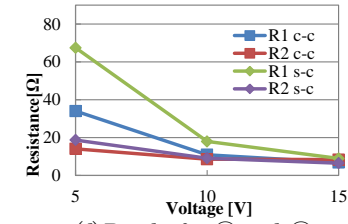
(a) Results for ① and ③



(b) Results for ① and ④



(c) Results for ② and ③



(d) Results for ② and ④

Fig.4 Relationship between R1,R2 and voltage

なると考えられる。しかし、(b)のR1 s-sとR1 s-cも、またR2 s-sとR2 s-cも、近い値を取っているため、陽極と陰極は区別できない。(c)からも同様な理由で、陽極と陰極の区別ができない。一方、図4(d)は、陰極は同一材料の銅を用いているので、値が近いR2 c-cとR2 s-cを陰極の同定結果、また、R1 c-cとR1 s-cはそれぞれ銅とステンレスの陽極の電荷移動抵抗と見なすことができる。上記の考察を踏まえ、陽極の電荷移動抵抗は陰極より大きいこと、ステンレス陽極の電荷移動抵抗は銅陽極より大きいこと、ステンレス陰極と銅陰極の電荷移動抵抗が近い値を持つことがわかる。なお、これらの結論を、図4のすべての結果に当てはめても、矛盾は生じない。

電気二重層容量と電荷移動抵抗のペアは決まっているので、陽極と陰極の電荷移動抵抗が判別できると、陽極と陰極の電気二重層容量も自動的に区別がつく。

以上より、同定結果の値の大きいほうのパラメータがRa, Caであり、値の小さいほうがRc, Ccであることが推測できた。

4. 各加工条件の変化による同定結果の変化

前章までに、陽極、陰極を判別したことで、より信頼性の高い実験結果が得られるようになった。そこで、実験条件のうち極間距離を変化させた場合、電解液濃度を变化させた場合、異なる電解液を用いて印加電圧を变化させた場合において、実験を行い、各パラメータが変化を調べた。本報は、電解液濃度を变化させた場合と、印加電圧を变化させた場合の実験結果を掲載することとした。

4.1 電解液濃度変化による各パラメータの変化

NaNO₃水溶液の濃度を变化させた場合の各パラメータ同定結果を図5から図7に示す。図5より、濃度が増加するに従って、Rsの値は減少していることがわかる。これは、濃度が増加することによって、電荷を運ぶイオンの数が増加し、電流が流れやすくなったためと考えられる。図6より、濃度が増加するに従って、Ra, Rcの値は減少することがわかる。これは、濃度が増加すると溶液抵抗の値が減少し、電流が流れやすくなり、電解反応が生じやすくなったためと考えられる。図7より、濃度が増加するに従って、Ca, Ccの値は増加していることがわかる。これは、参考文献²⁾の内容と一致している。

4.2 印加電圧変化による各パラメータの変化

2種類の電解液、NaNO₃水溶液とNaCl水溶液を用い、それぞれ印加電圧を变化させた条件での実験を行った。電解液以外の実験条件は表1のものを用いた。各パラメータ同定結果を、図8から図10に

示す。図8より、RsはNaNO₃、NaClともに、電圧の大きさによらず一定の値となっていることがわかる。これは、溶液抵抗の値は印加電圧の値の大きさによって変化しないという予想と一致している。また、RsはNaClのほうがNaNO₃よりも小さい。つまり、NaClのほうがNaNO₃よりも電流が流れやすいことを意味している。図9より、電圧が増加すると、Ra, Rcの値は減少しており、特にRaの値が大きく減少していることがわかる。電荷移動抵抗の値は電流の流れにくさを表しているため、電荷移動抵抗の値が小さいと、電解反応が生

じやすくなるということになる。つまり、電圧の値が増加すると、電解反応がより生じやすくなることがわかる。これは、電圧を大きくすると電極近傍の電荷が過剰になるため、電荷の平衡を保つために電解反応が生じやすくなるためと考えられる。また、Ra, Rcの値もNaClのほうがNaNO₃よりも小さく、NaClのほうがNaNO₃よりも電解反応を生じやすいことを意味している。これは、一般にNaClのほうがNaNO₃よりも電解反応を生じやすいということと一致している。図10より、電圧の値が増加するに従って、Ca, Ccの値も増加していることがわかる。また、Ca, Ccの値はNaClのほうがNaNO₃よりも大きいことがわかる。

5. 結言

本研究では、陽極と陰極の材質の組み合わせを变化させることにより、陽極、陰極の各パラメータを区別した。また、電解加工の加工条件を变化させることにより、印加電圧、電解液の種類が各パラメータに及ぼす影響を調査した。今後は電解液の違いによる加工精度の变化の調査や、電気二重層の条件によるパラメータの变化の理由など、説明できていない部分を、今後検討する必要がある。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「革新的設計生産技術」(管理法人：NEDO)によって実施されました。

参考文献

- 1) 秋元ベニヤミン, 原田慎治, 夏恒: 遺伝的アルゴリズムを用いた電解加工等価回路のパラメータ同定, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2014), pp1197-1198
- 2) 劉 興江, 門間 聰之, 逢坂 哲彌: 電気二重層キャパシタ用活性炭電極容量成分の電解質溶液依存性, 電気化学および工業物理化学(1996), pp831-835

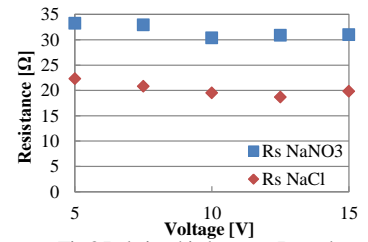


Fig.8 Relationship between Rs and voltage in different electrolyte

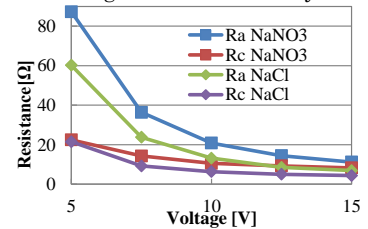


Fig.9 Relationship between Ra, Rc and voltage in different electrolyte

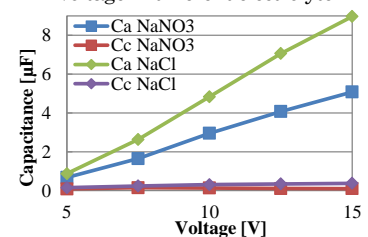


Fig.10 Relationship between Ca, Cc and voltage in different electrolyte

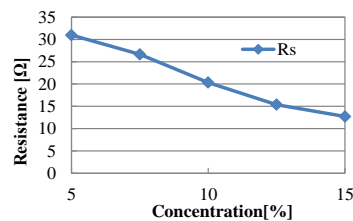


Fig.5 Relationship between Rs and concentration

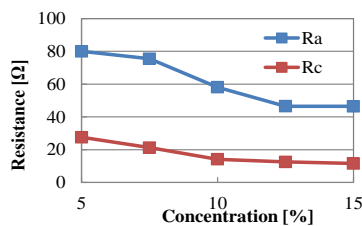


Fig.6 Relationship between Ra, Rc and concentration

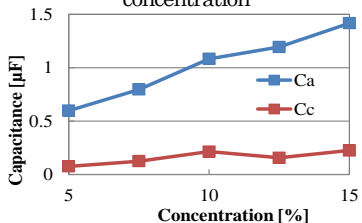


Fig.7 Relationship between Ca, Cc and concentration