

補助陽極を有する電解液吸引工具を用いたチタン合金の電解加工特性に関する研究 Study on ECM characteristics of titanium alloys using an electrolyte suction tool with auxiliary anode

東京農工大学 ○稲玉孝裕, 小玉脩平, ◎夏恒

要 旨

チタン合金を電解加工する場合、低電流密度領域で不動態被膜が生成され、加工が阻害されるため、高精度な形状加工が困難であった。そこで本研究では、チタン合金の電解加工の精度が向上する条件を見出すことを目的とし、低電流密度領域を抑制できる補助陽極を有する電解液吸引工具を用いて加工特性を調査した。その結果、電解液に NaCl aq を用いて、高い走査速度で加工を行うことが高精度な加工に有効であることが判明した。

1. 緒 言

電解液吸引工具¹⁾は、従来の電解加工とは異なり、電解液を工具直下のみで循環させることで加工領域を限定できる工具である。この工具を用いることで電流域を制限し、電解液の飛散を防いで電解加工を行うことが可能である。しかし、加工の進行により電解生成物や気泡が発生し、それらが電解液を工具の外側に押し出すことで電解液の溢れた箇所にも電流が流れてしまう。この領域は工具と工作物の距離が離れているため流れる電流が低く、低電流密度領域となる。工作物がチタン合金の場合、低電流密度領域で不動態被膜が形成され、特に工具の走査時に加工の妨げとなることが知られている²⁾。さらに、工具が被膜の真上を通過する際に電流密度が大きくなり、被膜の破壊が生じるが、この破壊が不均一に生じることで加工面品質の悪化を引き起こす³⁾。これを防ぐために、従来の電解液吸引工具の下部に工作物と同電位にした補助陽極を付与した工具を使用することで、電解液が工具の外側に溢れた場合でも、補助陽極直下には流れる電流が抑制され、加工精度や加工面品質が向上することが田畑ら⁴⁾により確認されている。

そこで本報では、補助陽極を有する電解液吸引工具を用いて、不動態被膜の形成により従来は困難であったチタン合金の電解加工特性を解明することを目的とし、走査電解加工に適する電解液、及び、加工精度が向上する走査速度について調査を行った。

2. 実験方法と評価方法

2.1 実験装置

図1に実験装置の概略図を示す。工作物及び工具を3次元走査ステージに接続する。工具上部を電解液タンクに、工具側面の継ぎ手を廃液タンクにそれぞれつなぎ、吸引ポンプを用いて電解液を吸引し、循環させる。吸引圧力は、廃液タンクと吸引ポンプの間に接続する圧力センサとレギュレータを用いて調節する。さらに、電解工具を加工電源の負極側に、工作物及び補助陽極を加工電源の正極側にそれぞれ接続する。補助陽極の消耗を低減するため、補助陽極の材料はイオン化しにくいグラファイトを用いる。また、50 μm の隙間ゲージを工具と工作物間に挟み、薄板が動かない位置を初期極間距離として設定した。

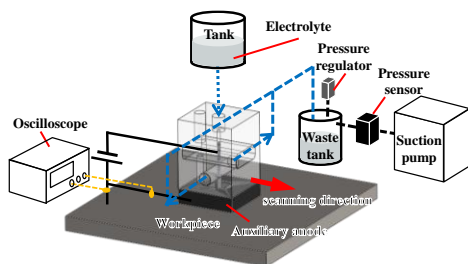


Fig. 1 Schematic of experimental equipment

2.2 評価方法

図2に得られる加工痕の一例を示す。同図において、輪郭形状測定機を用いて、走査方向と垂直で溝の中心部(②)及び溝の始点と終点から1 mmの位置(①, ③)、走査方向と平行で溝の中心部を通る位置(④)において形状の測定を行った。得られた加工形状から加工痕の長さ、幅、深さを算出し、条件ごとに比較することで加工精度を評価した。

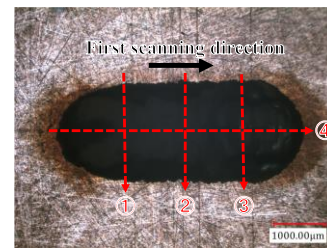


Fig. 2 Measurement points in four directions

3. 実験結果

3.1 異なる電解液による走査電解加工

実験条件を表1に示す。走査速度により加工特性が変化することを考慮し、走査速度を7段階に変化させ、走査距離が5 mmになるように走査速度と加工時間の積を一定に設定した。電解液は硝酸ナトリウム水溶液と塩化ナトリウム水溶液の2種類を用い、計14回の加工を行った。また、補助陽極の消耗が加工に及ぼす影響を防ぐため、異なる電解液での実験を行う際に補助陽極を新品に変更した。

Table 1 Experimental conditions with different electrolytes

Material of workpiece	Ti-6Al-4V
Machining time	4, 6, 15, 20, 30, 60, 150 s
Scanning speed	2, 5, 10, 15, 20, 50, 75 mm/min
Peak voltage	15 V
Pulse width–Pulse interval	15–15 ms
Suction pressure	-6 kPa
Initial gap distance	50 μm
Electrolytic solution	20 wt% NaNO ₃ aq, 20 wt% NaCl aq

図3に、実験で得られた図2の④の向きの輪郭形状を示す。走査速度に注目すると、電解液の違いによらず速度が遅くなるにつれて加工量が増加することがわかる。これは走査速度が遅い場合、長時間工作物の同じ箇所には電流が流れ続けたためである。一方、走査速度が速い場合は被膜を破壊するほど電流が流れず、両電解液ともにほとんど加工されなかった。電解液による加工穴形状の違いに注目すると、NaNO₃ aq を用いたときは走査速度を遅くすることで形状が深さ方向及び走査方向に拡大する傾向が観察された。しかし、最大で1.6 mm程度の距離しか加工さ

れなかった。一方で、NaCl aq を用いたときは、加工穴深さが最大で 35 μm 程度であったが、2 mm/min と 5 mm/min の走査速度では不動態被膜を破壊して加工が進行することが確認できる。これは、NaCl aq が高い電流効率を有しており⁹⁾、電流密度によらずに工具-工作物間に電流が流れ、不動態被膜が形成された箇所にも電流が効率よく流れたためだと考えられる。以上より、Ti-6Al-4V の走査電解加工における電解液は NaCl aq が適していると考えられる。

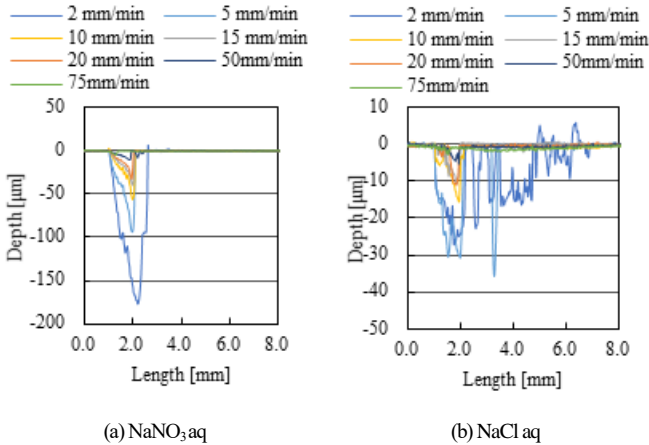


Fig. 3 Shape of machined hole with different electrolytes

3.2 走査速度の違いによる走査電解加工

工具の走査速度が加工に及ぼす影響を調べるため、表 2 に示す条件を用いて加工実験を行った。明瞭な加工形状を得るため電圧を 20 V に増加させ、電解生成物が吸引時に工具に詰まるのを防ぐ目的で吸引圧力を大気圧の -10 kPa に変更した。パルス幅-休止時間及び極間距離は表 1 と同様に、走査速度を 1, 5, 50, 100 mm/min の 4 段階に変化させ、1 回分の走査距離を 3 mm に設定した。電気量を等しくするために電圧の印加時間を固定し、1 mm/min の走査速度で 1 回加工する条件を基準に、1 mm/min で 1 回、5 mm/min で 5 回、50 mm/min で 50 回、100 mm/min で 100 回加工した。

Table 2 Experimental conditions with different scanning speeds

Machining time	180 s
Scanning speed	1, 5, 50, 100 mm/min
Peak voltage	20 V
Suction pressure	-10 kPa
Electrolytic solution	20 wt% NaCl aq

実験で得られた走査速度の違いによる輪郭形状を図 2 の②、④の位置においてまとめたものを図 4 に示す。また、図 5 に図 2 の各測定位置の形状から得られた、走査速度に対する最大加工深さ、加工痕長さ、加工痕幅の関係を示す。図 4 より全体の形状はほぼ同様であるが、図 5 より走査速度の増加に伴い加工痕の長さ及び幅が減少し、最大深さが増加することがわかる。この原因として、走査速度が増加すると加工痕の外周部付近の低電流密度領域に生成した不動態被膜を破壊できるほど長時間電流が流れず、工具直下のみ加工が進行することが考えられる。また、図 5(c)より走査方向による各位置の幅に大きな差が見られないため、一定の幅で加工が進行したことがわかる。

走査速度が速い場合、一度の走査による加工量が小さいため、加工形状が層状に蓄積され、測定された深さに達したことが考えられる。そのため、一度の走査による加工量が算出できれば走査回数の変更により設

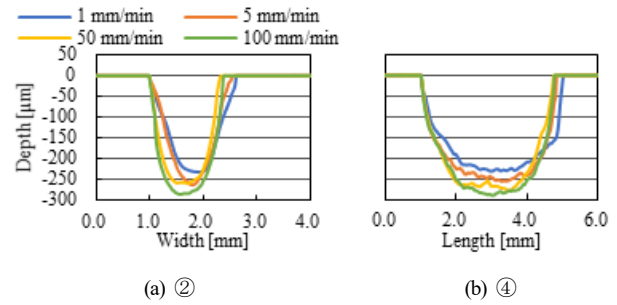


Fig. 4 Shape of machined hole with different scanning speeds

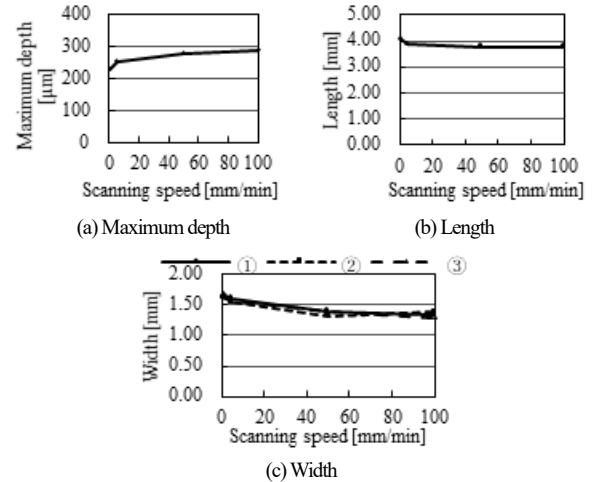


Fig. 5 Relationship between scanning speed and machining result

定した任意の加工深さが得られ、加工深さの制御が可能になると考えられる。しかし、走査速度を際限なく速くすると工具直下においても不動態被膜の破壊に至るほど電流が流れなくなる可能性が考えられるため、適切な走査速度を検討する必要がある。

4. 結 言

Ti-6Al-4V に対して、補助陽極を有する電解液吸引工具を用いて走査電解加工を行い、電解液と走査速度の変化による加工形状を調査した結果、以下の知見が得られた。

- 電解液に NaCl aq を用いると不動態皮膜を破壊でき、加工が進行する。
- 走査速度が増加するほど、加工痕の深さが増加し、幅が減少し、精度が向上する。

文 献

- 1) 遠藤ら：第 9 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, pp.213-214 (2012).
- 2) M. Weinmann, et al. Electrochemical dissolution behaviour of Ti90Al6V4 and Ti60Al40 used for ECM applications, Journal of Solid State Electrochemistry, Vol.19, pp.485-495(2015).
- 3) 日極さおり：チタン合金における不動態被膜の生成が電解加工特性に与える影響, 2019 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.117-118
- 4) T. Tabata, et al. Research on machining characteristics and tool wear in ECM with electrolyte suction tool with auxiliary anode, Proceedings of 3rd World Congress on Micro and Nano Manufacturing, pp.302-306 (2019).
- 5) 佐藤敏一, 特殊加工, 養賢堂, pp.207, 213-214 (1981)