

(様式 5)

2021 年 9 月 17 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学専攻 (major) 2018 年度入学 (Admission year) 学籍番号 18833011 氏名 日極さおり (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	夏 恒
論文題目 (Title)	電解液吸引工具を用いたチタン合金の走査電解加工における不働 態被膜の影響と対策に関する研究
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) <p>電解加工は、非接触で電解作用を使用しており、残留応力がない、良好な表面品質が得られる、工具消耗がないなどの利点から、切削が困難な金属材料の形状創成のための有望な加工方法である。しかし、中でもチタン合金やタングステンカーバイドなどの難削材の一部では、工作物表面に酸化被膜が生成され、それ以上の材料の溶解を妨げる。酸化被膜による不働態化は、低電流密度領域で起こるが、特に工具を材料に対し平行に動かす、走査電解加工を行う場合には、材料溶出に十分な電流密度となる前に漂遊電流により被膜が生じることで加工が不均一になる問題がある。</p> <p>そこで、本研究では、チタン合金の不均一加工の原因を究明し、その結果からチタン合金のような不導体被膜の生じやすい材料に対しても走査電解加工において均一な加工を実現することを目的とした。まず、電解液吸引工具を使用したときの実際の電解液が介在する領域や電流密度分布を調べ、酸化被膜にどのような影響があるのか説明した。次に、不働態化現象を引き起こしにくいニッケル基超合金やステンレスとの加工特性と対比することにより、走査電解加工における Ti-6Al-4V の不均一溶解のモデルを提案し、実験によって検証した。最後に、チタン合金において均一な走査電解加工を行う方法を提案し、その有効性を実験的に調査した。</p> <p>本論文は、全 7 章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。</p> <p>第 1 章「序論」では、電解加工について概説し、現在までに報告されている関連研究に関してまとめている。特に、型彫り電解加工と走査電解加工について、またチタンおよびチタン合金の電解加工について調査した結果を述べた。</p> <p>第 2 章「電解液吸引工具による各種材料の走査電解加工特性」では本研究の電解液吸引工具と加工システムについて、また、走査電解加工特性についてまとめた。電解液吸引工具は電解液の飛散・露出がない点で優れており、物理的に電流が流れる領域を制限するた</p>	

め、加工精度の向上が期待される。また、ステンレスおよびニッケル基超合金では均一な加工が得られ、走査速度を制御することによって吸引工具は深さの変化する形状創成が可能であることが確認された。一方で、電解液吸引工具によるチタン合金の走査電解加工は、加工がまばらになり不均一な加工となる問題がある。

第3章「走査電解加工におけるチタン合金の材料溶出モデル」では、チタン合金の走査電解加工における不均一加工の加工現象のモデルを示した。まず、実際の電解液領域を観察し、解析によって電流密度分布を調べた。その結果と既存研究から、電極から離れた箇所でも酸化被膜は生成されるであろうことが予想された。走査した場合のみ不均一加工となることから、加工前の低電流密度領域で生成される不働態被膜が均一な加工を妨げる。次章以降でこの現象を詳しく調査した。

第4章「電圧ピーク値の制御を利用した走査加工の模擬実験による電流密度の影響調査」では、停止状態での走査電解加工の再現を試み、チタン合金の走査電解加工において不均一加工が生じる原因について調査した結果をまとめた。その結果、不均一加工の原因は加工前後に工作物が低電流密度にさらされることで、被膜が生成され、材料溶出の妨げとなることであると明らかとなった。被膜の生成を抑制し、除去加工を十分に行うためには、1秒以下の低電流密度時間と、0.67秒以上の加工電圧を印加する時間が必要であることが明らかとなった。

第5章「陽陽極酸化により生成する不働態被膜の材料溶出への影響」では陽極酸化により生成される不働態被膜の影響を調査した。被膜を生成させる条件によって、主に以下のことが明らかとなった。

- 1) 被膜生成時間が長くなるにつれ加工量は減少し、その後加工量は増加する
- 2) 被膜の影響は電極近傍で特に大きくなる
- 3) 被膜生成電圧が高い方が加工量の減少は大きくなる
- 4) 被膜生成時間が長いほど被膜は厚くなるが、引っ張り方向に応力が生じることで、局所的な加工が行われやすくなる

よって、チタン合金の均一な走査電解加工のためには、被膜生成時間を短くすることが肝要である。

第6章「走査電解加工実現のための工具設計」では、これまでの結果を受け、走査電解加工が実現できる工具の設計方法を示した。実際に新たな工具を作成し、チタン合金での均一な走査電解加工を実現した。被膜生成時間を短く、かつ十分は加工時間を得るために、電解液の介在する領域を縮小した新たな工具を考案した。また、今後はパルス間隔を短くすることでさらに滑らかな表面を得られる可能性があることを示した。

第7章「結論」では、本研究を通して得られた知見をまとめた。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Electrochemical machining (ECM) has advantages such as no residual stress, good surface quality and no tool wear because of the non-contact machining method using electrolytic reaction. Therefore, it is promising for generating shapes of difficult-to-cut metals. However, in some difficult-to-cut metals such as titanium alloys and tungsten carbide, an oxide film is formed on the surface of the workpiece, which hinders further dissolution of the material. Surface passivation due to the oxide film occurs in the low current density region, but especially when the tool moves parallel to the workpiece with ECM, the film is coated by the stray current before the current density becomes sufficient for material elution.

Therefore, the purpose of this study is to investigate the cause of non-uniform machining of titanium alloys and to realize uniform machining in scanning ECM even for the materials such as titanium alloys that are prone to form a passive film.

This paper is composed of 7 chapters, and the outline of each chapter is as follows.

Chapter 1 "Introduction" outlines ECM and summarizes related research reported to date.

Chapter 2 "Scanning ECM Characteristics of Various Materials with Electrolyte Suction Tools" summarizes the electrolyte suction tool and the scanning ECM systems of this study, and the scanning ECM characteristics. The electrolyte suction tool is excellent in that the electrolyte is not scattered or exposed, and it is expected to improve the machining accuracy because it physically limits the area where the current flows. Scanning ECM of titanium alloy with an electrolyte suction tool has the problem of sparse surface and non-uniform machining.

Chapter 3 "Material dissolution model of titanium alloy in scanning ECM" showed the current density distribution and a model of non-uniform machining phenomenon in scanning ECM of titanium alloy.

Chapter 4 shows that it was clarified that the cause of non-uniform machining is that the workpiece is exposed to low current density before and after machining, which forms a film and hinders material elution.

Chapter 5 shows the effects of passivation films produced by anodization were investigated. It is important to shorten the film formation time for uniform scanning electrolysis of titanium alloy.

In Chapter 6, based on the results so far, A tool design method to realize scanning ECM was presented. In addition, a new tool was actually made and scanning ECM of titanium alloy was realized.

Chapter 7 summarizes the findings obtained through this study.