

(様式 5)

2021 年 9 月 16 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) 平成 29 年度入学(Admission year) 学籍番号 17833701 氏名 佐藤 敦 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	夏 恒 教授
論文題目 (Title)	電解液吸引工具を用いた局部電解めっきの積層特性に関する研究
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)  付加加工では、3D プリンタに端を発し、積層造形法が注目されている。積層造形法は、3 次元 CAD データから得られた薄い層状物を積み重ねて物体を形成する。積層造形法のうち、粉末焼結積層造形では、材料に金属粉末を使用し、レーザを用いた焼結により金属製品を製作できる。しかしながら、製作された製品はレーザ焼結過程により熱影響層を含み、その製品表面は粉末材料を使用するため粗い。 電解めっきは、めっき液中の工作物に電流を流すことで、電気化学的に工作物表面へ金属薄膜を被覆する作業である。従来の電解めっき法では、工作物がめっき液に浸漬させられ、めっき液と工作物の接触面全体がめっきされる。したがって、部分的なめっきが要求される場合、マスキング処理や不要な金属薄膜の除去が必要である。その一方で、これらの処理には、時間と費用がかかる。電解めっき膜は、熱影響層を含まず、滑らかな表面を有する。部分的なめっき膜を積層できれば、マスキング処理等を不要として熱影響層なく、製品表面が滑らかな積層造形を実現できる。 先行研究では、電解液ジェット加工において除去加工と逆の極性とし、マスクレスでの部分的な電解めっき膜の形成及び積層による積層造形が実施されている。一方、電解液ジェット加工は、毒性や腐食性を有する電解液を飛散させる。近年、付加製造に関する研究では、電解めっき技術に基づく電鍍と 3D プリンタで形成された樹脂型を組合せ、電解槽中の樹脂型内部に電解めっきの厚い層を堆積させている。この研究は、電解液を飛散させないが、樹脂型の積層造形に時間を要する。さらに、電解槽は、環境に負荷を与える電解液を多量に必要とする。樹脂型の積層造形が不要な手法としては、局所的な電気化学堆積法がある。局所的な電気化学的堆積法は、微小電極を用いた局所的な電気めっきによる付加製造法である。しかしながら、微細な電極を用いた局所的な電解めっきを行う手法であり、電解槽が必要である。	

電解加工では、工具中心部から電解液を吸引し、工具と工作物間のみに電解液を存在させる電解液吸引工具により、加工領域を限定できることが報告されている。電解液吸引工具の電解めっきへの適用は、樹脂型や電解槽が不要な局部電解めっきを電解液の飛散なく実現する。また、電解液吸引工具の往復走査により、局部的な電解めっき膜を積層できる。

本論文は、積層造形に適した電解液吸引工具を考案し、局部的な電解めっき膜の積層による立体造形法を検討する。本研究の目的は、電解液吸引工具を用いた局部的な電解めっき膜の積層特性を明らかにすることである。

本論文の構成は以下の通りである。

・第1章 「緒論」

背景、電解めっきの原理、研究目的、本論文の構成について記載する。

・第2章 「実験装置とめっき膜の評価」

電解液吸引工具の概要について説明した後、局部電解めっきによる積層造形に適した電解液吸引工具を考案する。また、実験で用いる加工装置とめっき膜を測定及び観察する機器について説明する。さらに、使用するめっき液と実験条件を述べた後、めっき膜の品質評価について記述する。

・第3章 「ギャップ幅と電流値の選定」

実験開始時の条件を決定するため、適切なギャップ幅（電解液吸引工具底面と工作物表面の間隔）と電流値を実験により調査する。ギャップ幅は電解液吸引工具底面における液循環の観察結果、電流値は電着特性の評価結果から選定する。

・第4章 「シミュレーションを用いた電解めっき膜形成の検証」

本研究における局部的な電解めっきは、従来の電解めっきに比べて電流密度がはるかに高く、理論に基づく成膜と異なる可能性がある。よって、時間依存を伴う実験結果と有限要素法によるシミュレーション結果を比較し、成膜の理論的妥当性を検証する。

・第5章 「電極材料が電極消耗特性に及ぼす影響」

電解めっきでは、工具電極が電解加工されて消耗する。この電極消耗は、加工が長時間となる積層造形において深刻な問題となる。そのため、電極材料によって電極消耗特性が異なることを利用し、電極消耗の低減を試みる。しかしながら、電極消耗が小さい電極材料であっても、電着特性が良好でない場合は研究における使用が困難である。よって、電極材料が電着特性に与える影響を調査した後、両電極材料の電極消耗特性を比較する。

・第6章 「積層高さの限界調査」

積層高さを調査することは、本研究の有用性を評価するうえで大変重要である。したがって、電解液吸引工具の往復走査数を増やして積層高さの限界を調査する。また、電解液吸引工具における3往復ごとの工具上昇量の増加は電流域の拡大につながり、局所的な電界集中を抑えると考えられる。そのため、工具上昇量を増加させ、電着特性の改善による積層高さ限界の向上を試みる。

・第7章 「結論」

研究結果を総括し、先行研究との比較を行う。そして、本研究の用途と応用、将来の展望について述べる。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Lamination shaping method, which forms an object due to laminating thin layers, attracts attention from 3D printers. Selective laser sintering is a typical process for rapidly manufacturing metal products. On the other hand, manufactured products contain heat affected layers, and the product surface is rough.

Electroplating is a process of coating a metallic material onto a workpiece surface by the electrochemical process. In conventional electroplating, the workpiece is immersed in a plating solution, and the immersion surface on the workpiece is plated. Therefore, the masking treatment, etc. that lead to a substantial increase in processing time and cost are required, when partial plating is performed. Accordingly, the lamination of maskless local electroplating film enables lamination shaping method with a smooth surface and without heat affected layers, because the electroplating film is formed electrochemically. That kind of lamination shaping is performed by electrolyte jet machining with the polarity opposite to removal processing. Meanwhile, the electrolyte jet machining scatters the electrolyte having toxicity and corrosiveness. In recent years, the study on additive manufacturing combines electroforming based on electroplating technology and the resin mold formed by a 3D printer, then the thick plating layer is deposited inside the mold in an electrolytic bath. This research doesn't scatter the electrolyte, while it takes time for forming the resin mold. Moreover, the electrolytic bath requires a large amount of electrolyte that has a negative impact on the environment. Localized electrochemical deposition is the additive manufacturing method through local electroplating with a micro electrode. However, this method doesn't require a resin mold, but it uses an electrolytic bath.

To achieve local electrochemical machining, the machining area can be limited with an electrolyte suction tool that retrieves electrolyte by a suction pump through the central hole of the tool and makes the electrolyte exist only between the tool tip and the workpiece surface. Therefore, the application of the tool to electroplating enables local electroplating without scattering of electrolyte, and there is no need for preparing of the resin mold and electrolytic bath. In addition, the lamination of a local electroplating film can be performed by reciprocal scanning of the tool.

In this paper, we devise the electrolyte suction tool suitable for lamination shaping and consider the three-dimensional shaping method through the lamination of a local electroplating film. This research aims to clarify the lamination characteristics of the local electroplating film.