

氏名	山口 篤
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第5553号
学位授与の日付	平成29年 3月24日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	つり下げ電極による曲がり穴放電加工法の開発
論文審査委員	教授 岡田 晃 教授 藤井 正浩 教授 大橋 一仁

学位論文内容の要旨

加工技術の高度化は著しく、細穴、深穴、難加工材料への加工など、種々の工作物材質に対して様々な形状を付与する技術が開発され、ものづくりの基盤技術として活用されている。しかしながら、金属材料の内部で屈折・屈曲する曲がり穴は、機械部品の高性能化に必要と分かりつつも、その加工技術は未だに確立されていない。本研究では、独自に考案したつり下げ電極と称する柔軟構造の放電加工用電極と、工作物の傾斜制御を組み合わせることで、形状精度に優れた曲がり穴を加工する技術を開発した。

第1章では、曲がり穴加工技術の背景や必要性を述べるとともに、考案した曲がり穴加工法の基本的な原理や優位性を提唱した。この方法を具現化するために、第2章は電極構造の最適化と曲がり穴加工の基礎的な可能性の検討を行った。直径5.5mmの電極球をワイヤ、箔、チェーンでつり下げた構造の電極は、加工条件を適切に設定することで放電加工が可能であり、特に銅箔は曲がり穴加工に必要な柔軟性と放電加工に必要な電流を許容できる性能を有していた。この電極を使用し、加工の最中に工作物の傾斜させることで、曲がり穴が形成できることを示した。

第3章では、より小さな電極球に対する加工特性を調べた。電極球の質量が小さくなるにつれ、加工可能な放電加工条件が限定されるようになった。これは、電極球の質量が小さくなると加工反力や気泡の浮力の影響を受けやすくなり、短絡が頻発して訂正な極間が維持できなくなるためである。亜鉛合金の工作物に対しては、直径3mmの電極球による小径曲がり穴加工が可能であった。

第4章では工作物材質の展開を行った。その結果、鉄鋼材料、ニッケル合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金等の工作物に対して曲がり穴が加工できることを示した。一方で、電極球の直径が6mm以上の場合は安定した加工状態が得られるが、それ未満になると加工が不安定であった。第5章では、この課題を解決するため、工作物に振動を付与する方法を提案・検証した。振動付与により強制的に極間を与えて加工を安定させる効果があることが分かり、直径4mmの電極球を用いた小径穴加工が実現した。

ここまでの検討により、曲率と屈折角度を自在に組み合わせた曲がり穴を高い形状精度で加工できることが分かり、本法の高い可能性を示すことができた。最後の第6章では、実用技術として活用するために必要な要素技術をまとめた。1つは、工作物に付与すべき振動特性の目安を知ることである。振動振幅の大小が加工特性に与える影響を調べたところ、加工速度と穴径に及ぼす影響が小さかった。つまり、振幅に関わらず、一定の振動さえ付与さえすれば安定した加工状態を得られることを示した。もう1つは、非破壊による加工穴形状の観察方法の確立である。複雑な形状の曲がり穴を加工する際には、工作物を切断せずに穴形状を評価する技術が必須である。超音波探傷法は、放電加工機の加工液中で、工作物を加工用治具から取外すことなく計測を行うことができ、曲がり穴の計測方法に最適であった。

以上のように、つり下げ電極の設計から実用化に必要な周辺技術の検討に至るまでの体系的な検討を行った。つり下げ電極は、柔軟構造でありながら安定した加工状態が得られるなど、新たな放電加工用電極としての可能性を有している。本研究は曲がり穴加工技術の提案に留まらず、放電加工法の高性能化に寄与することが期待できる。

論文審査結果の要旨

本研究では、除去加工によって曲がり穴を創成する新規的加工技術の開発に取り組み、独自に考案したつり下げ電極と称する柔軟構造の放電加工用電極と工作物の傾斜制御を組み合わせることで曲がり穴を加工する技術の研究が行われた。まず、電極構造について検討し、銅箔で電極球をつり下げた構造とすることで曲がり穴加工に必要な電極の柔軟性と放電電流の供給が両立できること、この電極を使用し加工中に工作物を傾斜させることで曲がり穴が形成できることを示した。次に、加工穴の小径化を目的として電極球径に対する加工特性の変化を調査した結果、電極球質量が小さくなると加工反力の影響を受けやすく、短絡が頻発して最適な極間が維持できなくなり、加工可能な放電加工条件が限定されることを明らかとした。また、亜鉛合金に対しては直径 3 mm の電極球による小径曲がり穴加工が可能であることも示された。続いて、工作物材質による加工特性の違いを検討し、鉄鋼材料、ニッケル合金、アルミニウム合金等の工作物に対して曲がり穴が加工できることが分かった。一方で、電極球の直径が 6 mm 未満になると加工が不安定となる現象が現れた。この課題の解決するため、工作物に振動を付与する方法を提案し検証した。そして振動付与により強制的に極間を与えることで加工が安定し、直径 5 mm 以下の小径穴加工が実用金属材料に対して実現している。また、ここまでの検討により、曲率と屈折角度を自在に組み合わせた曲がり穴を高い形状精度で加工できることが分かり、本加工法の高い可能性を示すことができた。最後に、実用技術として活用するために必要な要素技術をまとめた。1 つは、工作物に付与すべき振動の目安を知ることであり、振幅に関わらず一定の振動さえ付与さえすれば安定した加工状態を得られることを示した。もう 1 つは、加工中の加工穴形状測定であり、超音波探傷法を応用することによって加工液中で工作物を加工用治具から取外すことなく計測を行うことができ、曲がり穴の計測方法に最適であることが分った。以上のように、つり下げ電極の設計から実用化に必要な周辺技術の検討に至るまでの体系的な検討を行い、新しい曲がり穴加工技術を確立している。

本研究によって得られた成果は、今後の加工技術分野における革新的な技術としての工学的・工業的価値が高い。よって本研究は博士（工学）の学位に値するものと認められる。