

審査の結果の要旨

氏名 森田浩充

本論文は、「自動車用燃料噴射弁における微細穴加工の研究」と題し、地球温暖化や資源枯渇に対する排気ガス浄化、低燃費化のための燃料の噴霧制御に直結する噴射穴を微細、高精度、高速に実現する微細穴加工技術の研究である。

燃料噴射穴には、燃料の微粒化、流量高精度化、均質化要求から小径化、高アスペクト化（深さ／穴径の比）、高精度化が求められる。最近では多様化するエンジン燃焼方式にあわせ、形状自由度も求められている。従来主流であったドリル加工では、工具剛性、バリ、形状自由度の問題から、量産加工は直径 0.2mm が限界であった。一方、上記問題を解決できる放電加工は、加工能率が遅くコスト面が問題であり金型、治工具への適用に留まっていた。

本研究の開発方針は、従来の加工法にとらわれず、穴の必要機能に見合う加工原理を多面的に検討する。そして、加工原理のポテンシャルを引き出す加工法や設備を開発し、さらに他工法との組合せにより、加工性能を飛躍的に向上させることを狙う。

本論文の構成を以下に示す。はじめに直径 0.1mm までの微細穴を対象に、高速に加工できる微細穴放電加工法や噴射機能を向上させる各種微細穴加工法の開発について述べる。次に、アスペクト比 10 以上の小径深孔加工の高速化技術開発について述べる。

【研究結果】

2 章では、微細穴放電加工における高速化の課題が、主に微細穴内部での加工屑滞留に起因する短絡、開放現象からの早期復帰であることを明らかにした。そして、新しく考案した圧電素子を用いたダイレクトドライブ方式の電極送りデバイスの電極送り特性と加工性能について述べる。従来のサーボモータとボールネジを組み合わせた放電加工機と比較し、100 倍以上の高応答性を持ち、短絡、開放の短縮が可能となった。直径 0.1mm までの微細穴に対し、5 倍の加工速度を有することを確認した。

3 章では、開発した電極送りデバイスにおける信頼性向上技術について述べる。デバイス自体の発熱による能率低下や電極消耗での電極位置認識誤差による精度劣化に対し、温度補償のための圧電素子伸縮量の可変制御システムや、電極消耗に依存しない終点位置制御システムを独自に開発した。その結果、量産ラインへ展開できる目安となる 8 時間稼働に対し、全自動、無停止で、かつ実用上十分な精度を得ることを実証した。

4 章では、3 章までで述べた要素技術を活用したシステム技術について述べる。燃料噴射弁の流量精度を向上させるため、途中穴の流量を計測して次穴の径を可変させる

流量フィードバック制御システムを考案した。その要素技術として、機上での電極成形システム、微細穴専用の放電加工電源を開発した。上記システムにより、流量精度を従来比約3倍に向上できることを確認した。

5章では、燃料噴射弁の機能を向上させる3つの微細穴加工技術について、その研究成果を述べる。噴霧形状の多様化に対応するレーザ、放電複合加工法による異形微細穴加工法の開発、噴射流量の高精度化に対応する噴射穴の持つ形状ばらつきを機能である流量に置き換えた微細穴流体研磨加工法の開発、微粒化のためのホルダ構造による直径0.1mm以下の微細穴放電加工の開発である。

6章では、燃料噴射弁の燃料流路穴に適用する小径深穴の高速放電加工技術について述べる。自動車用高応答ON/OFF電磁弁を活用した高応答・高出力な放電加工用油圧式電極送りデバイスを開発した。従来実用化されている加工液噴出法と組み合わせることで、従来工法であるドリル加工以上の高速性を実現した。

7章では、本研究で得られた成果についての総括を行い、さらに今後の展望について述べている。

【研究成果の社会への貢献】

上記開発した微細穴加工技術は、穴明けから仕上げ加工に至るまで、(株)デンソーの自動車用燃料噴射弁製造ラインに全展開している。ガソリン、ディーゼル問わず全てのエンジンの微粒化性能に大きく寄与し、CO₂、NO_x等の排気ガスを数十%低減することに大きく貢献している。08年現在、燃料噴射穴において世界最小径を実現している。

このように、本論文でなされた研究は、燃料噴射弁の機能を向上させるために、多面的な視点で工法検討を行い、電気加工から機械加工に至る幅広い領域において独自かつ実用的な工法開発を行った。本論文で提案、開発した要素技術およびシステム技術は、燃料噴射弁の微細穴加工の分野において新たな可能性を示し、かつ量産ラインへ展開することで実社会へ貢献を果たしている。その成果は、次世代における微細穴加工技術の発展に大きく貢献するものといえる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。