

微細深穴放電加工における加工液供給法の影響調査とミストノズルの効果検証

東京農工大学工学部機械システム工学科 ○中村 亮太 ◎夏 恒

微細深穴放電加工では加工が深くなると極間に加工屑が滞留し、短絡や異常放電が頻発するため加工速度が低下し、加工精度が悪化する。これらの問題を解決するため、ミストを加工穴と工具電極の隙間に噴射することで加工屑の排出効率を向上させる方法が提案されているが、効果は詳細に調べられていない。そこで本研究は、ミストとなる脱イオン水と空気の割合を変化させ、加工速度と精度への影響を調査し、最適な割合を見出す。

1. 緒言

放電加工は、絶縁体の液または気体の中における微小な距離を隔てた工具電極と工作物の間にアーク放電を発生させ、工作物を溶融・蒸発させる熱的作用による除去加工である。非接触加工なので、機械加工では困難な微細深穴の加工を得意としている。一方、微細放電加工の極間距離が数 μm 程度であり、加工深さが深くなるにつれ、加工屑や気泡が加工領域から排出しづらくなり、加工穴底面や側面の極間に滞留する。そして、加工屑を介して工具電極と工作物が短絡したり、異常放電が発生したりすることで、工具電極の引き戻しが頻発することにより加工速度が著しく低下するという問題点がある。また、加工屑を介した二次放電や異常放電が発生することで側面ギャップが増加し、加工精度に悪い影響を及ぼす⁽¹⁾。そこで、筆者ら⁽²⁾は、加工屑の排出効率を上げ、これらの問題を解決するため、ミストノズルを用いた深穴加工法を提案した。しかし、ミストの割合など、最適な条件はまだ調べていない。本報では、脱イオン水のみを噴出した場合やミストの割合を変化させた場合で加工実験を行い、ミストノズルの効果を検証した結果を報告する。

2. ミストノズルの原理と実験装置

2.1 ミストノズルの原理と構造

本研究では、図1に示すミストノズル⁽²⁾を用いて深穴の微細放電加工特性を調べる。工具電極の同軸上に設置しているミストノズルの原理は以下の通りである。ノズル上部の入口からコンプレッサによって加圧された圧縮空気が供給され、下部の入口からはポンプによって脱イオン水が供給される。そして、ノズルと工具電極の隙間およびノズルの出口付近で高速の空気流と脱イオン水の激しい衝突により脱イオン水が粉碎され、ミスト状となって加工穴に向かって噴出される。ミストの勢いで、極間に加工液を供給しながら、狭い極間から加工屑や気泡を排出する。また、圧縮空気によって穴入口周辺の脱イオン水が飛ばされることで、電圧印加時に起きる電解作用⁽³⁾を抑制し、側面ギャップを小さくして加工精度を向上させる効果も期待できる。

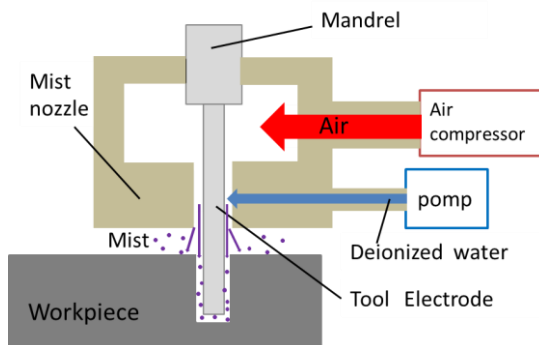


Fig.1 The principle of mist nozzle

工具電極と同軸上にノズルを設置し、高速の液流を加工穴に向かって噴出する方法は鈴木⁽⁴⁾によって提案されているが、電解作用抑制効果において本ミストノズルの原理と異なっている。

2.2 実験装置と方法

本研究では軸加工機(松下, MG-ED51)を用いて直径 $60\mu\text{m}$ のタングステン工具電極を成形した後、RC放電回路を採用している超微細放電加工機(松下, MG-ED82W)によりステンレス SUS304 に対して止まり穴を加工した。今回はすべての加工実験の際、工具電極を回転させなかった。工具電極の設定送り量は $500\mu\text{m}$ に、設定送り速度は $30\mu\text{m/s}$ とし、コンデンサ容量は 220pF 、開放電圧は 100V とし、中仕上げ条件を用いた。また、工具電極の送りは次のように制御されている。設定送り速度で工作物に向かって送られるが、電極と工作物が直接短絡した場合や加工屑を経由し短絡した場合には、工具電極の送りが停止し、逆方向に引き戻される。その後、短絡が解消し、絶縁回復が確認できたら再び設定送り速度で工具電極が送られる。

3. ミストと脱イオン水の噴射による加工速度の比較

ミストノズルを用いて脱イオン水のみを噴射した場合と、脱イオン水と空気を混ぜたミストを噴射した場合の加工速度を調べる。

3.1 工具送りの測定結果

ミストノズルを用いて脱イオン水のみを供給した場合と、脱イオン水と空気を混ぜた場合での加工速度に差があるかどうかを調査するため比較実験を行った。また、流量やミストの混合割合の最適値を見出すため、流量や割合を変化させ加工を行った。なお、ミストの場合、空気の流量は 3480mL/min 一定とした。加工の安定性やばらつきを調べるため、同条件の実験は3回ずつ行った。各実験条件の代表的な工具送り量と加工時間の関係を図2に示す。尚、脱イオン水の流量を W (mL/min)、空気の流量を A (mL/min) で表現してある。また、ミストでの結果を実線で脱イオン水のみでの結果を点線で示した。図2により、全ての条件でミストは脱イオン水のみよりも早く加工できることが分かる。また、ミストを用いた場合は

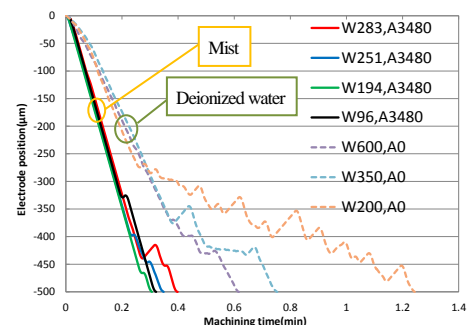


Fig.2 Relation between machining time and electrode position

加工中短絡が発生し工具の引き戻しが発生しても短絡解消の時間が短い。一方、脱イオン水のみの場合加工初めから細かな短絡が発生し

で設定送り速度より遅くなり、加工が深くなると大きく引き戻しが発生し、短絡解消の時間が長くなり、加工が停滞する様子も同えた。ミストを用いた場合と脱イオン水を用いた場合で短絡の発生頻度と解消に要する時間が異なる理由は以下のように考えられる。脱イオン水に比べてミストは粘性が低いので、狭い極間に入りやすく、加工層の排出効率が向上したため、ミストを用いた方が加工時間を短縮できた。

3.2 加工速度の比較

3.1節の実験で得られたすべての加工データから、設定送り量を加工時間で割り、各流量における加工速度を求めた。そして、ミストの場合と脱イオン水の場合の加工速度の平均値とばらつきをそれぞれ図3と図4に示す。図3より、脱イオン水の流量194mL/minの場合の加工速度は最も速いことが

分かる。この原因として脱イオン水の割合が少なすぎると側面ギャップに入り込む加工液が少なく、放電が生じにくいと同時に加工層の冷却や排出が難しくな

ったと考えられる。また、脱イオン水の割合多

すぎるとミストの粘性が上がり、側面ギャップにミストが入り込みにくく、加工層の冷却や排出が難しくなり短絡や異常放電により加工速度が低下したと考えられる。

また、図4より、脱イオン水のみを供給した場合、液の流量を上げるとそれに伴い加工速度が向上している。これは、加工液を噴出する勢いが上がったことで、加工層の排出効率が向上したことが原因と考え

られる。一方、図3のミストの結果と比べて、最大加工速度が二分の一以下になっただけではなく、加工速度のばらつきが非常に大きくなっていることが分かる。これは3.1節の考察と同様に、脱イオン水のみでの加工層の排出効果が低く、加工が不安定になっているためと考えられる。

4. 側面ギャップと電極消耗について

電圧印加時の電解作用の抑制効果を期待し、ミストノズルを提案したので、その効果を加工実験により検証した。電解作用が抑制されれば、側面ギャップが小さくなり、加工精度が向上する。そこで、加工精度の指標として、穴の半径と電極の半径の差を示す側面ギャップを評価する。また、放電加工特性のもう一つ大きな指標である工具消耗も調査した。

4.1 側面ギャップ

脱イオン水のみ噴射とミスト噴射での加工精度を評価するために、加工した穴の径と電極の直径から側面ギャップを求め、図5と図6に示す。これらの図よりミストを用いた場合の側面ギャップは4.5~5.8 μm であり、脱イオン水のみ場合の側面ギャップは9.5~11.7 μm となっていることが分かる。脱イオン水のみ場合と比べ、

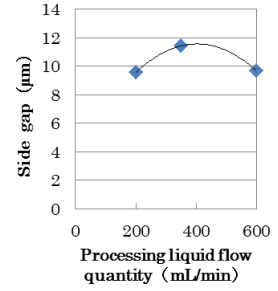
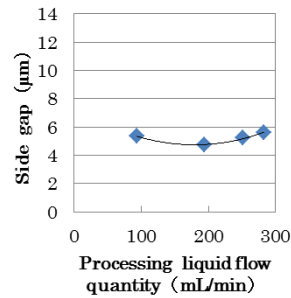


Fig.5 side gap in the case of mist Fig.6 side gap in the case of Deionized water only

ミストを用いることで側面ギャップを半分以下に抑制できることが分かる。これは、ミストを用いたことにより脱イオン水の電解作用が抑制されたことが考えられる。また、加工層排出の効率が向上し、また加工時間が短くなったため、2次放電、異常放電の影響が抑制されたことも原因の一つと考えられる。

4.2 電極消耗

ミストを用いる際、ミストに混合させる脱イオン水の流量を変化させ電極消耗を比較する

ため、加工前後の電極長さから工具消耗を求めた。図7にそれぞれの流量での工具消耗を示す。

図7より、工具消耗量が45 μm 程度で、脱イオン水の流量にあまり影響されないことが分かる。

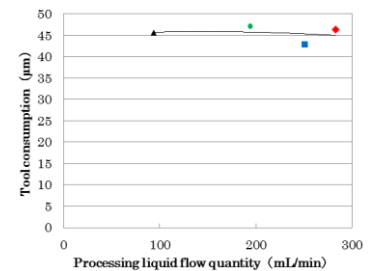


Fig.7 Comparison of tool consumption

5. 結言

本研究では、放電加工による微細深穴加工におけるミストノズルの効果を確認し、脱イオン水の割合の影響を調べた結果、以下の知見を得た。

- ・ミストを用いることで脱イオン水のみを供給するよりも加工速度が2倍以上に向上し、側面ギャップも半分以下に低減した。
- ・ミストを用いる際、混合させる加工液となる脱イオン水と空気は最適な割合が存在する。
- ・ミストを用いた場合、工具消耗は脱イオン水の割合に依存しない。

参考文献

- (1) T. Ichikawa, et al.: Investigation of Machining Characteristics of Micro-EDM with Ultrasonically Vibrated Machining Fluid under Ultra-small Discharge Energy, International Journal of Electrical Machining, 18(2013), pp.1-7.
- (2) 夏ら: ミストノズルによる高アスペクト比微細穴の高速放電加工の実現, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.167-168.
- (3) 正木ら: 高精度マイクロ放電加工の研究(第3報)、電気加工学会誌、Vol.43(104)、2009、pp.163-171.
- (4) 鈴木: 微細穴加工用高速放電加工機の開発、電気加工学会誌、47、114(2013)、pp.7-11.