

微細深穴の放電加工における電極形状の影響

東京農工大学 ○飯野耕平, 小玉脩平, ◎夏恒

棒状電極を用いた直径 100 μm 以下の微細穴の放電加工において、穴が深くなると放電によって生じる加工屑や気泡が加工領域から排出されにくくなり、異常放電や短絡を原因とする工具電極の引き戻しが増加し、加工速度や精度の低下につながる問題がある。本研究では、工具電極の形状を変化させ、微細深穴の放電加工における加工屑排出効率の向上を図り、高い加工速度と加工精度を得ることを目的とする。

1. 緒言

棒状電極を用い、直径 100 μm 以下の微細穴の放電加工において、穴が深くなると加工領域で放電によって発生する加工屑や気泡の排出が困難になり、異常放電や短絡を原因とする工具電極の引き戻しの頻度が増え、加工速度と加工精度が低下する。そのため、高効率な微細深穴の放電加工を実現するためには加工屑の効率的な排出が求められる。図 1 に深穴の放電加工の概略図を示す。これまでドリル形状の工具電極を使用し、加工屑排出の通路を確保すること^(1,2)や、加工液への超音波振動の付与により加工屑排出効果が向上すること⁽³⁾が報告されている。しかし、ドリル形状の電極には作製にコストと時間がかかること、加工液への超音波振動の付与には長い工具電極を用いる場合、加工液を通じて電極にも振動が伝わるという課題がある。

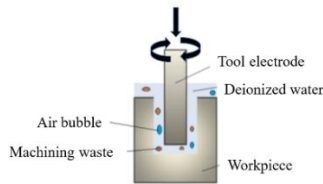


Fig. 1 Schematic of Micro EDM drilling

2. 研究目的

本研究では工具電極の断面形状が I 字状の「I カット電極」を使用し、極間から加工屑や気泡が排出される空間を従来の単純円筒電極より確保することで加工屑排出効率の向上を図り、微細深穴加工における加工速度、加工精度、電極消耗といった加工特性の向上を目的とする。

I カット電極は単純円筒電極の両側面を加工する簡単な方法で作製できるため、電極作製に時間がかかる問題を解決でき、左右対称の形状をしているため工具電極のぶれが発生せず加工精度が安定すると考えられる。

3. I カット電極の概要と実験装置

図 2 に円筒電極と I カット電極の概要図、図 3 に加工屑排出の様子を示す。本研究では微細軸加工機(MG-ED51, 松下電器産業社製)を用いて工具電極を成形した後、超微細放電加工機(MG-ED71, 松下電器社製)により穴加工した。加工液には脱イオン水を使用し工具電極の横から極間に新鮮な脱イオン水を供給し続ける噴流法により実験を行った。

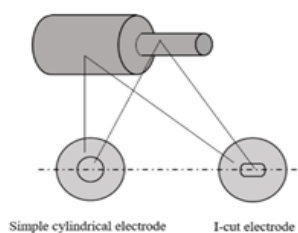


Fig. 2 Section view of electrode

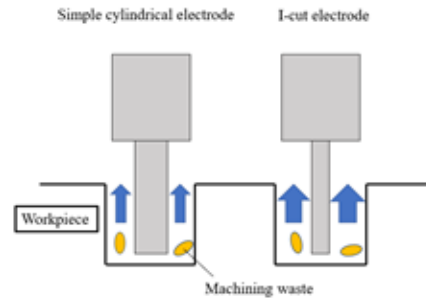


Fig. 3 Evacuation of machining wastes

4. 加工特性と安定性の調査

直径 70 μm の単純円筒電極、直径 70 μm 、側面の削り量 10.8 μm の I カット電極を用いて、表 1 の条件でそれぞれ 5 回ずつ放電加工を行い、加工特性の安定性の比較を行った。工作物には板厚 400 μm の SUS304 の板材を使用した。I カット電極は単純円筒電極と比べ先端部の消耗が激しいため、工具電極送り込み量を多めに設定した。それぞれの電極における放電加工の加工速度の平均値および最大値と最小値を図 4 に、側面ギャップの平均値および最大値と最小値を図 5 に、電極体積消耗率の平均値および最大値と最小値を図 6 に示す。

図 4, 5, 6 より I カット電極を用いた場合、単純円筒電極での加工と比較して加工速度が速く、加工精度が高く、電極体積消耗率が小さくなっていることがわかる。これらは加工屑の排出が促進されたためだと考えられる。一方、図 4 より I カット電極を用いた放電加工の加工速度のばらつきが大きいことがわかる。この原因として、単純円筒電極と比較して工具電極の断面積が小さく、加工中の電極の消耗の仕方が加工ごとに異なり、加工の進行の仕方が異なるためだと考えられる。

Table 1 Discharge condition

	Simple cylindrical	I-cut
Voltage[V]	110	
Capacitance[pF]	1000	
Feeding quantity[μm]	700	720
Setting feed speed[$\mu\text{m/s}$]	100	

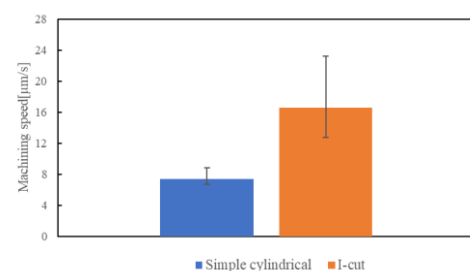


Fig. 4 Machining speed

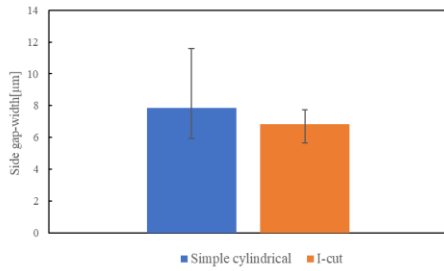


Fig. 5 Side gap-width

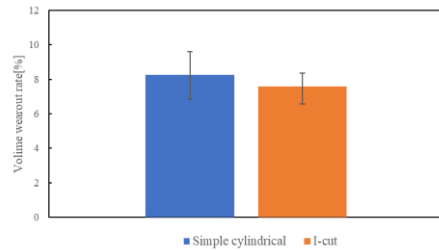


Fig. 6 Volume wearout rate

また、図5と6より、側面ギャップ、電極体積消耗率はIカット電極の方がばらつきが小さいことが分かる。以上より、加工穴の精度を優先する場合はIカット電極を用いた加工の方が安定性が高いことが分かった。

5. 設定送り速度と加工特性についての調査

本研究で使用した放電加工機は、短絡状態になると工具電極の送りを止めて主軸を引き戻し、絶縁が回復すると送りを再開する制御方法を利用して、設定送り速度を大きく設定した場合は加工が深くなると加工屑の排出が電極送りに間に合わず短絡が発生しやすくなり加工速度が低下する。そのため、短絡により加工速度が低下しない範囲で最も大きい設定送り速度、最適送り速度が存在する。そこで、単純円筒電極とIカット電極それぞれを用いた放電加工で設定送り速度を変化させた場合の加工特性から各電極での加工の最適送り速度を調査し比較することで、Iカット電極による高効率な加工屑排出が実現できているか調査した。

直径70 μmの単純円筒電極と、直径70 μm、削り量10.8 μmのIカット電極を用いて表2の条件で放電加工を行った。前章の実験で行った各電極での5回の加工結果を平均したものを、設定送り速度100 μm/sでの加工特性として記載した。図7に設定送り速度と加工速度の関係、図8に設定送り速度と側面ギャップの関係、図9に設定送り速度と電極体積消耗率の関係を示す。

Table 2 Discharge condition

	Simple cylindrical	I-cut
Voltage[V]	110	
Capacitance[pF]	1000	
Feeding quantity[μm]	700	720
Setting feed speed[μm/s]	3, 6, 10, 20, 40, 70	

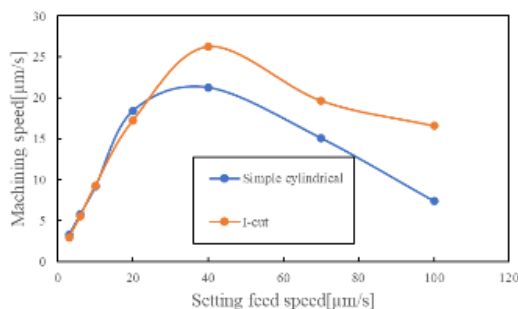


Fig. 7 Machining speed and setting feed speed

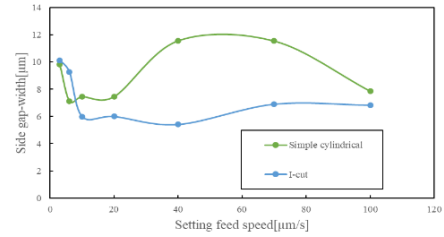


Fig. 8 Side gap-width and setting feed speed

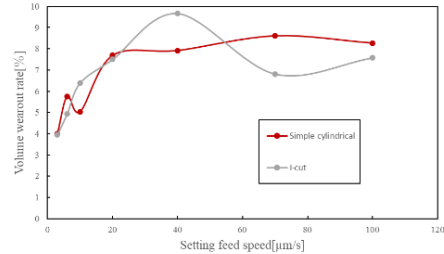


Fig. 9 Volume wearout rate and setting feed speed

図7より、設定送り速度が遅い場合、設定送り速度と近い加工速度が得られ、設定送り速度40 μm/s前後を境に加工速度の低下が始まる特徴が両加工でみられる。以上より直径70 μmの単純円筒電極、Iカット電極を用いた場合の放電加工における最適送り速度は40 μm/sであることがわかる。また、設定送り速度を40 μm/s以上にした場合、Iカット電極を用いた方が速い加工速度が得られることがわかる。これは加工屑の排出が促進され、引き戻しの頻度が抑えられているためだと考えられる。

図8より、Iカット電極による加工では設定送り速度3, 6 μm/sの場合に側面ギャップが大きくなっているが、それ以上の設定送り速度では単純円筒電極と比較して小さく抑えられていることがわかる。設定送り速度が速くなり発生する加工屑の量が増加するとどちらの電極でも引き戻しの頻度が増加するが、Iカット電極を使用した加工の方が加工屑の排出が促進されているため、引き戻しの頻度が抑えられ、電極側面と加工穴表面での二次放電の頻度が少なくなったためだと考えられる。

図9より、設定送り速度が40 μm/sの場合にIカット電極の電極体積消耗率が大きくなっているが、全体としてみると今回の結果のみではどちらの電極の方が消耗を抑えられているか判断が難しい。また、設定送り速度を遅く設定した加工の方が工具電極の消耗を抑えられているという特徴が両電極の加工にみられる。

本実験における単純円筒電極とIカット電極を用いた放電加工の最適送り速度での加工特性は、加工速度がそれぞれ21.29 μm/s, 26.32 μm/s, 側面ギャップがそれぞれ11.57 μm, 5.42 μm, 電極体積消耗率がそれぞれ7.92%, 9.66%という結果だった。

6. 結言

単純円筒電極とIカット電極を用いた場合の加工安定性の比較を行った結果、加工穴の精度と電極体積消耗率に関してはIカット電極を用いた加工の方が安定性が高く、加工速度のばらつきが大きい単純円筒電極を用いた加工よりも速いため実用性があることが分かった。

また、Iカット電極を使用することで加工屑排出効率が向上し、短絡が減少することにより加工速度、加工精度が向上することがわかった。一方で、電極体積消耗率は改善がみられないことがわかった。加工速度が向上するが、単純円筒電極を使用する場合の加工時間に対して、Iカット電極の作製に時間が余分にかかるため、加工に時間がかかる深い穴加工を行う場合にIカット電極の有効性があると考えられる。また、本研究では比較的大きい放電エネルギー条件で調査を行ったため、放電エネルギーを小さく設定した場合の加工特性を調査する必要がある。

参考文献

- (1) 増沢：電気加工学会誌, 35(80), pp.5-20(2001)
- (2) 宮本ら：2014年度精密工学会春季大会学術講演論文集, pp.1223-1224
- (3) 市川ら：電気加工学会誌, 47(116), pp.155-162(2013)