

論文

微細放電加工機による微細穴の加工技術開発

山崎 実^{*1)} 森 紀年^{*1)} 武井健三郎^{*2)} 國枝正典^{*3)}

Development of processing technology of micro-hole by micro-EDM

Minoru YAMAZAKI, Noritoshi MORI, Kenzaburo TAKEI and Masanori KUNIEDA

Abstract This paper describes a new method for micro-EDM drilling which utilizes the wear of an electrode rod. In this method, the polarity of the electrode rod is positive, and the rotating electrode rod is fed into the electrode block at a feed rate of several ten times higher than the normal one. Since the circumferential region of the electrode rod wears at a much higher rate than the central region, the end of the electrode rod is sharpened in a few minutes. At the same time, a cone-like micro-hole with a sharp bottom shape is generated in the electrode block automatically. The results are as follows: 1) The feed speed influenced the needle-shaped length. 60 μ m/s was the most suitable. At this time, the needle-shaped length became short as the speed increased beyond the most suitable speed. 2) The number of rotations influenced the needle-shaped diameter and needle-shaped length. When the number of rotation is rose, the needle-shaped length became long, and the needle-shaped diameter becomes small. 3) Energy influenced the needle-shaped length and needle-shaped diameter. When the energy increased, the needle-shaped length became long, and the needle-shaped diameter became small.

Keywords Micro-EDM, Micro-machining, WEDG, Tapered-hole, Tapered-rod

1. 緒言

近年、工業製品における部品の微小化が急激に進んでいる。これらに伴って必要とされる穴加工においては、さらなる微細・高品位加工技術への対応が緊急課題となっている。

微細放電加工は、従来の機械加工ではできない高アスペクト比の穴加工が可能であり、数 μ mの微細な工具が作れることにより、微細穴加工に適した加工技術である。特に医療・電子機器用部品やインクジェットプリンタのノズルやエンジン噴射ノズル等においては、それを応用しての早急な微細穴加工技術の確立が強く望まれている。

そこで、より効率的に加工できる、電極消耗を利用した放電加工法による微細穴の加工技術開発を目的とする。

2. 加工原理

図1に電極消耗による穴開け法のプロセスを示す。原理は、通常の微細放電加工において電極側をプラス、

工作物をマイナスとする極性時に電極を回転させながら通常の数十倍の送り速度で放電加工を行うと、電極の外周部が中心部より多く消耗し、数分で先端径が数十 μ m、先端長さが数百 μ mの針状に加工される。しかも、軸加工と同時に穴あけ加工が完了する。つまり、従来のWEDGや逆放電加工法のように成形された電極を用いて改めて穴加工を行う工程が省略でき、ほぼ同じ形の軸と穴のペアが同時に得られるものである。

図2に得られた成形電極および同時加工した穴の断面のSEM像を示す。ほぼ同一形状の電極と穴が同時に得られていることが確認できる。図3に成形される電極の模式図を示す。

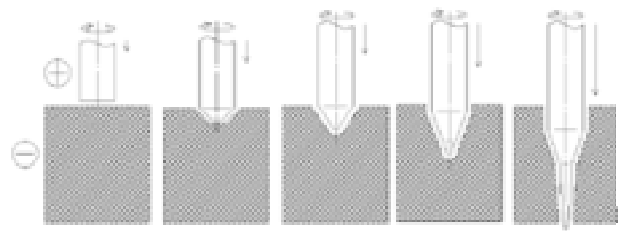


図1 微細穴放電加工法のプロセス

*¹⁾精密加工技術グループ*²⁾東京電機大学院生*³⁾東京農工大学



成形電極



加工穴断面

図2 成形電極及び同時に加工した穴断面

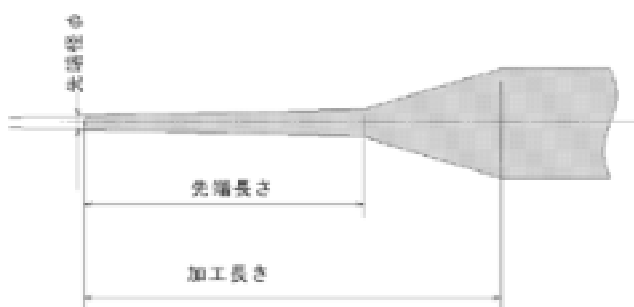


図3 電極の模式図

3. 実験方法

実験材料 S45C において、任意の穴を加工するための条件を調べるために、表1に示した加工条件により主軸の送り速度、回転数、電圧、コンデンサー容量を変えて微細放電加工を行い検討した。極性は電極側をプラス、工作物をマイナスとして加工を行った。なお、極性が逆の場合には電極の消耗が小さく電極成形は難しい。

加工穴の形状としては、中心軸から半径方向の各地点における加工深さで表す。直接加工深さを測定することは困難なため、加工後の電極を測定した。微細放電加工では加工間隙が数 μm である¹⁾ため、各加工条件の加工間隙を測定し電極測定結果に加えて加工深さとした。加工は微細放電加工機(松下電器製 MG-ED72W)を使用した。

表1 加工条件

工具電極材質	150 μm (タングステン電極)
コンデンサー容量	3300pF 220pF 10pF
電圧	110V 90V 70V 工作物側(-)
回転数(rpm)	0,1500,3000,4500,4900
加工液	放電加工油
加工時間	8min
実験材料	S45C

4. 実験結果

4.1 送り速度の影響

図4は回転数 4500rpm における送り速度の違いによる電極断面形状を示す。送り速度 5 $\mu\text{m/s}$ の場合は全体的に消耗する。送り速度が速くなるにしたがい先端長さは長くなり、60 $\mu\text{m/s}$ で最大となる。さらに、送り速度を上げ 200 $\mu\text{m/s}$ にすると、先端径はほとんど変わらないが、先端長さは若干短くなる。送り速度 60 $\mu\text{m/s}$ において、先端径 28 μm 、先端長さ 260 μm であった。

図5は送り速度の違いによる中心から半径 75 μm までの各地点における加工深さを示す。加工深さは送り速度が速くなるにしたがい大きくなり、60 $\mu\text{m/s}$ で最大となる。さらに速くすることにより加工深さは徐々に低下する。外周部ほど加工深さは小さくなる。

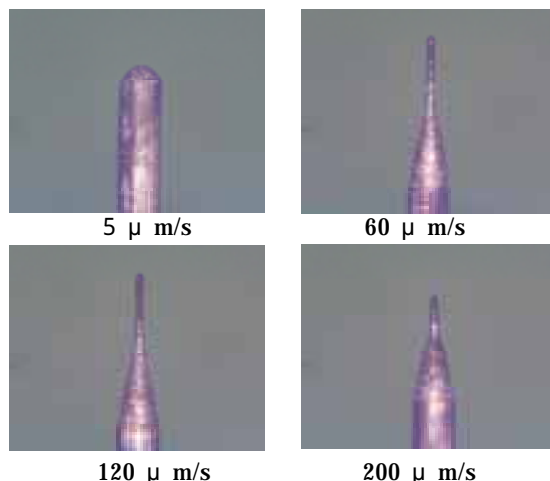


図4 送り速度の違いによる電極形状 (110V 3300pF 4500rpm)

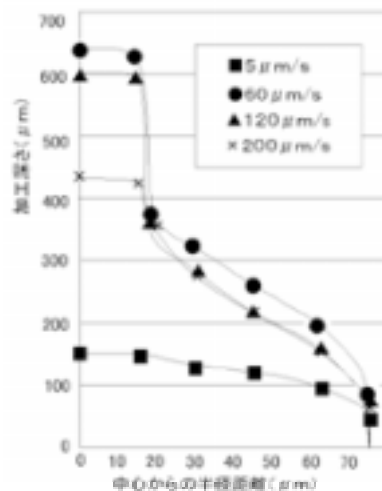


図5 送り速度の違いによる加工深さ (110V 3300pF 4500rpm)

4.2 回転数の影響

図6は最適値と考えられる送り速度 $60 \mu\text{m/s}$ における回転数の違いによる電極断面形状を示す。回転数が0では先端径は細くならない。1500rpmでは先端径は太く、先端長さは短い。3000rpmは先端に付着がある。4900rpmになると先端径は細く、先端長さは長くなる。

図7は回転数の違いによる中心から半径 $75 \mu\text{m}$ までの各地点における加工深さを示す。加工深さは回転数が0では小さい。回転数が1500rpm以上になると加工深さは大きくなる。回転数が高くなるほど加工深さは深く細くなる。

4.3 放電エネルギーの影響

図8は送り速度 $60 \mu\text{m/s}$ 、回転数4500rpmにおけるエネルギーの違いによる電極断面形状の比較を示す。電圧、コンデンサー容量が小さい場合、先端径は太く、先端長

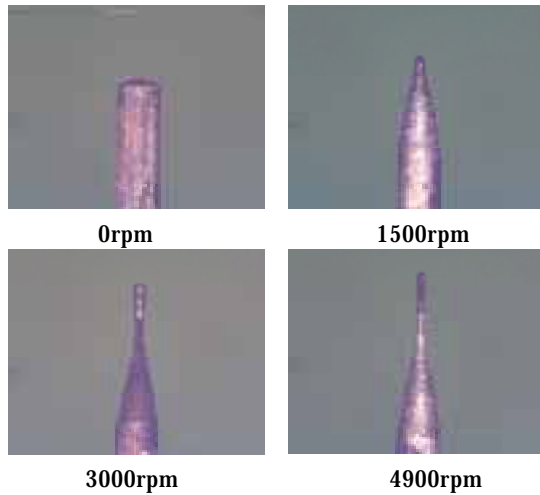


図6 回転数の違いによる電極形状
(110V 3300pF $60 \mu\text{m/s}$)

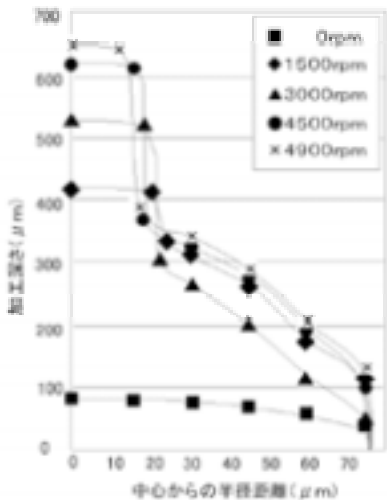


図7 回転数の違いによる加工深さ
(110V 3300pF $60 \mu\text{m/s}$)

さは短い。電圧、コンデンサー容量が大きい場合、先端径は細く、先端長さは長くなる。

図9はエネルギーの違いによる中心から半径 $75 \mu\text{m}$ までの各地点における加工深さ分布を示す。加工深さはエネルギーが大きくなるにしたがい深く、細くなる。
4.4 加工時間の影響

図10は送り速度 $60 \mu\text{m/s}$ 、回転数4500rpmにおける針部が成形されるまでの、経過時間における電極形状を示す。時間の経過とともに先端径が小さくなるとともに、4min後から徐々に針部が成形される。さらに加工を続

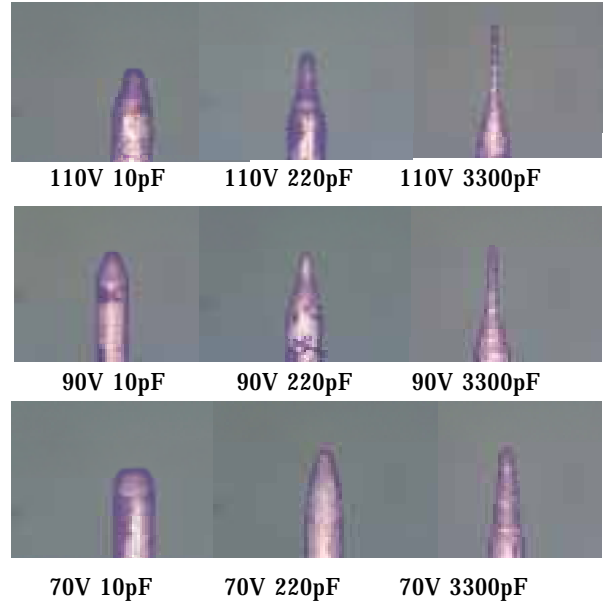


図8 エネルギーの違いによる電極形状
($60 \mu\text{m/s}$, 4500rpm)

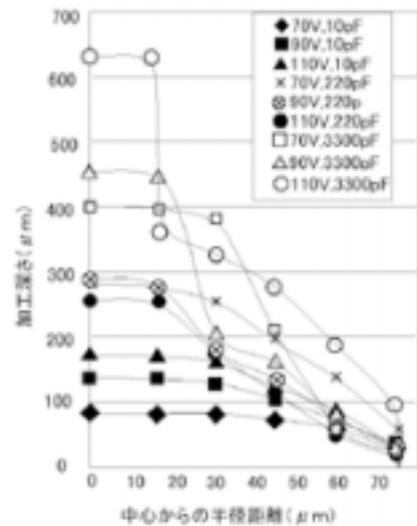
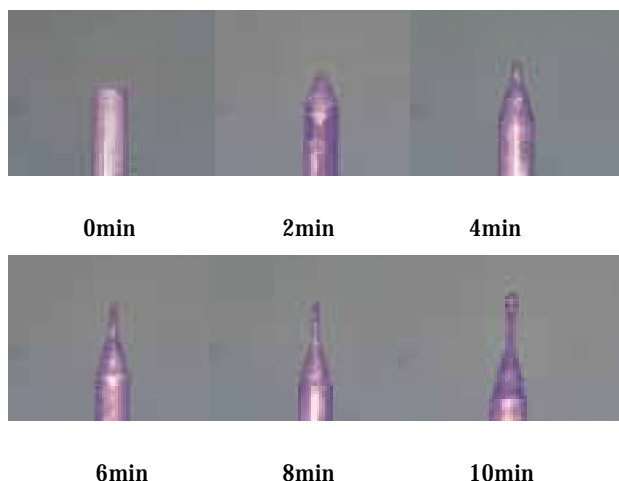


図9 エネルギーの違いによる加工深さ
($60 \mu\text{m/s}$, 4500rpm)



0min 2min 4min
6min 8min 10min

図10 加工時間と形状変化
(110V 3300pF 60 μ m/s, 4500rpm)

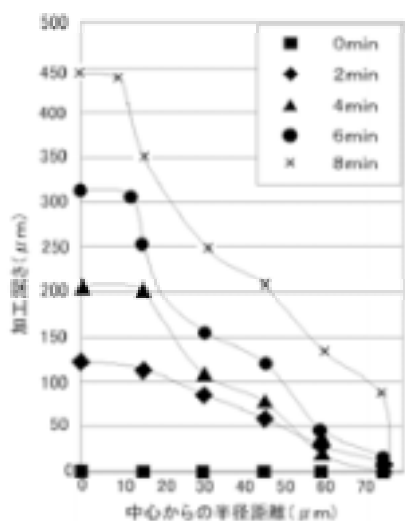


図11 加工時間の違いによる加工深さ
(110V 3300pF 60 μ m/s, 4500rpm)

けると、10min後に先端に付着物が生じるようになる。

図11は中心から半径75 μmまでの各地点の違いにおける経過時間と加工深さを示す。加工時間の経過とともに加工深さが大きくなることを確認できる。

4.5 電極および工作物の観察

図12は送り速度60 μm/s, 4500rpmにおける本加工法の電極および、加工条件を同一にしてWEGEで成形した電極のSEM像を示す。本加工法を利用した電極表面の粗さがWEGE法より小さいことがわかる。これにより、本加工法の放電痕の縁がなめらかであることを示した。さらに、先端に付着物を生じた電極のEDX分析を行った。付着には多くのFeとCが検出された。



本加工法 WEGE電極

図12 電極のSEM観察像

5. 考察

半径方向にこのような電極消耗が生じる理由は第1として、電極中心部においては加工屑が排出されにくく、カーボンの付着も多くなり電極消耗は小さくなる。これに対して電極外周部は回転によるフラッシング効果により清浄な加工液が供給されることから加工屑やカーボンの付着が少なく、電極消耗は大きくなり²⁾先端部が尖ってくると考えられる。

第2として、陽極と陰極の相対速度が大きくなると陰極の放電点が多くすべる。これにより陰極点側である工作物の単位面積当たりの電流密度は低下し、陰極表面温度が除去に必要な温度に上昇しないことから工作物の消耗は小さい。これに対して陽極側の放電点はすべり難いことから単位面積あたりの電流密度が大きく、陽極側である電極の表面温度が除去に必要な温度まで上昇し電極の消耗が大きくなると考えられる³⁾。これにより、電極の中心部に比べ周速度の大きい陽極側外周部での電極消耗が大きくなり、尖った電極が形成される。

6. まとめ

電極消耗を利用した微細放電加工機による微細穴の加工技術開発が実用的に利用可能であることを検討するために、各種加工条件を変えて加工を行った。その結果、次のような知見を得た。

- (1) 送り速度は先端長さに影響し、最適値(60 μm/s)が存在し、それ以上であると先端長さは短くなる
- (2) 回転速度は先端長さと先端径に影響し、大きいほど先端長さは長く、先端径は細くなる。
- (3) エネルギーは先端長さと先端径に影響し、大きいほど先端長さは長く、先端径は細くなる。

参考文献

- 1) マイクロ加工技術編集委員会編：マイクロ加工技術，24，日刊工業新聞社(1977)。
- 2) 夏恒・國枝正典：放電加工におけるパルス単位の電極消耗の変化に関する研究，電気加工学会誌18-20, 29(1995)。
- 3) 屋宮良一・吉田政弘・國枝正典：放電加工中の極間の相対滑りが放電柱に与える影響，1991年度精密工学会春季大会講演論文集，455-456

(原稿受付 平成13年7月31日)