放電創成加工法の微細精密加工への適用*

Micro-Precision Machining Technology by 3-D Surface Machining EDMs

中島宣洋**

Nobuhiro NAKAJIMA

Key words Micro-Precision 3-D EDMs

1. はじめに

放電創成加工法は20数年前、回転主軸内臓型数値制御形彫り放電加工機が開発されたことにより試みられるようになった放電加工技術の一つで、当初は2次元輪郭加工に適用される例が主であった。ここ数年来、モバイル関連、半導体関連製品などの小型、軽量化或いは高密度化が進みそれに伴って金型はより微細高精度が要求されるようになっている。金型の小型化に伴い機械加工のみによる金型の製造に限界が生じることから、放電加工の適用が増える傾向にある。その結果、放電加工では小型電極の製作が必要となるが、加工形状が小さいため電極製作に多くの工数がかかり、また一方放電加工の際、電極の小型化に起因する電極消耗の増大があり電極製作個数が増えるなど、電極製作コストの増大が悩みの種となっている。また、放電加工工程では加工量が少ないため放電加工時間がわずかとなり、機械装置の稼働効率が低下する結果となってしまう。これらの課題を解決すべく単純電極による3次元放電創成加工がその手段として見直される状況となってきている。本稿では最近の放電創成加工の方式や微細加工への適用事例を紹介し解説する。

2. 放電創成加工法の特徴

放電創成加工は単純丸棒電極や角電極を使用する加工法であることから次の特徴が挙げられる。

- (1) 電極製作コストの大幅削減
- (2) EDM トータルコストの削減
- (3) 加工精度の安定化
- (4) 微細精密加工への適用

(5) 熟練技能のデジタルマイスター化

(6) 形状を選ばない

(7) 金型納期の短縮

特に(5)のデジタルマイスター化は放電加工技術の自動化を意味するもので従来からの放電加工の数値化は難しいというイメージを払拭するもので微細精密加工へ適用した場合のメリットが大きい。

3. 機械本体

微細精密加工に適した機械装置として写真1が挙げられる。これはリニアモータ駆動超精密小型形彫り放電加工機で、X、Y、Zの3軸にリニアモータが採用されており、従来機にみられるボールネジ、回転モータは有していない。また、各軸は高速応答対応クロスローラガイド、およびリニアスケールで構成されている。リニアモータ駆動ヘッド部は軽量化と熱変位対策のためセラミックスを採用している。ヘッド部には高密度希土類永久磁石が斜め配置され、モータの磁極間のピッチ精度の改善やコギングトルク発生ピッチの安定化を図っており、高い真直性とスムーズな駆動を実現している。ヘッドの懸垂能力はピーク出力1600 N

写真1 超精密リニアモータ駆動小型形彫り放電加工機「AP1L」

*原稿受付 平成17年2月16日

**正会員 (株) ソディック (横浜市都筑区仲町台3-12-1)

中島宣洋

1964年岩手大学工学部機械工学科卒業。同年、池貝鉄工(株)入社ジャパックス(株)を経て、現在(株)ソディック営業技術本部スーパー加工センター長。

表1 「APIL」の主な仕様

X 軸ストローク	200 mm
Y 軸ストローク	120 mm
Z 軸ストローク	200 mm
指令単位	0.1 μ m
駆動単位	0.1 μ m
同時制御軸数	4 軸 (LQ1) 8 軸 (LQ10)

表2 回転軸の主な仕様

割り出し機能	回転分割数	1048576 分割
	分解能	1.236 秒
	割り出し速度	5 秒/回転
旋回機能	旋回速度	1 ~ 3000 rpm

(ニュートン), 定格出力 660 N の高推力ニアモータを採用し, 懸垂質量は 5 kg まで可能となっている。また, テーブル上盤にもセラミックスを採用し, 高絶縁化と極間浮遊容量の低減を図り, かつ, 熱変位対策を行なっている。表1に写真1の機械本体の主な仕様を, 表2に回転主軸内臓型形彫り放電加工機の主な仕様を示す。表2の仕様では1個のモータで角度割り出し, および旋回加工ができる構造となっている。Rタイプ機は任意角度割り出し加工やZ, C軸によるヘリカルギヤ加工, また旋回を利用した精密穴加工や単純棒電極による輪郭創成加工など, 多様な加工に対応できる構成となっている。

4. 放電創成加工の適用分野

加工面積が角 20 mm 以上では加工量が多くなるため機械加工の方が有利となる場合が多いが, それ以下の小物では機械加工のみでは加工が困難であったり, 精度上の要求から通常の放電加工または放電創成加工が採用されたりする例が多くなる。

5. 創成加工の電極形状

電極形状として図1に示す通り各種形状が挙げられ, これらは素材形状そのままで使用される場合と, 放電成形にて形状を目的形状に成形して使用する場合の2通りがある。電極寸法は丸形状では $\phi 0.02 \sim \phi 3.0$ mm までの範囲で使用される例が多い。ボール球およびテーパ電極は通常機上にて任意の寸法に成形し加工に使用する。

6. 微細放電創成加工に使用される電極材料

微細加工用電極材料の種類として AgW, CuW, Cu, W が挙げられる。放電成形では成形電極 (一次電極) と被成

図1 創成加工用各種電極形状

図2 創成加工の各種加工形態

形電極 (二次電極) があるがそれぞれ次のように使い分けられる。

- ・成形電極材 : CuW, AgW, Cu, Bs
- ・被成形電極材 : AgW, CuW, W, Cu

なお, 成形電極材の Bs (真鍮) はワイヤ式放電成形法の場合のみである。被成形電極材ではコストパフォーマンスの点より CuW 銅タングステンが多く使われるが, 微細精密加工では AgW 銀タングステンが使われる例が多くなる。また, 丸電極では市販品の $\phi 0.02 \sim \phi 3.0$ mm のロッド棒, または, パイプが使用される。

7. 基本加工形態

放電創成加工の形態として図2の①~④が挙げられ, ほとんどの3次元形状はこれらの組合せで加工可能である。

図3 創成加工のレイアウト

図4 精度確保のアルゴリズム

8. 放電創成加工のレイアウト

図3は放電創成加工のレイアウトで工作物、測定基準球、および電極形状の再生用ドレッシング電極より構成されている。ドレッシング電極の形状は電極の端面形状によりフラット、V溝、半円など各種断面形状のものが使用される。

9. 精度確保のアルゴリズム

放電創成加工では低消耗から有消耗までの広範囲な加工条件が使用されるが、電極消耗はゼロでないため、電極は消耗するとの前提に立って精度を確保しなければならない。図4は、電極消耗を計測しドレッシングにより電極形状を再生しながら加工を繰り返すことで精度を確保するアルゴリズムを示している。本図ではAの工程で深さおよびコーナ精度を任意に設定する。また、コーナーエッジを持たない、例えば、3次元形状創成ボール球状電極では45°方向の形状に対し数値を設定し、3次元形状の精度を確保する方法をとっている。

図5 加工精度と加工時間

写真2 超硬合金の創成加工例

10. 加工精度と加工時間

図5は、電極材質タングステンで電極径φ0.07 mmおよびφ0.05 mmの各電極を用いて周長2 mm、面粗さ1.5 μmRzの加工条件で単純溝を加工したときの深さ精度設定と加工時間の関係を測定したもので、加工精度の設定により加工時間が左右されることを示している。本図によれば10 μm以下の精度を指定すると加工時間が大きく変わることから、効率の良い創成加工を行なうためには加工条件に応じて適切な精度設定とすることが必要であることを図5は示している。

11. 放電創成加工例

11.1 超硬合金の放電創成加工例

写真2は、単純丸棒電極を使用した超硬合金の放電創成加工例である。超硬合金の3次元形状加工では通常3～4本の銅タングステン、または、銀タングステンの電極が必要で、金型コストに占めるその割合が大きい。創成加工では単純丸棒または角電極を使用するためコストは数分の1となり放電創成加工の適用のメリットが大きい。写真2に示す放電創成加工例では加工精度許容値を形状ごとに設定し加工されており、その設定値は深さ精度5 μm以下、コーナ精度30 μm以下で加工を行なっている。加工内容を表3に示す。

表 3 超硬合金放電創成加工例の内容

	形状①	形状②	形状③
電極寸法 (mm)	φ 1	φ 1	φ 1, φ 0.25
加工寸法 (mm)	□ 5 × 0.5	□ 3.5 × 1.5	□ 1.5 × 2
加工時間 (分)	120	95	30
面粗さ (μmRz)	3.1	3.1	3.1
階層数	2	20	2
電極消耗 (mm)	4.6	4.1	2.3
形状	ストレート	45° 勾配	ストレート

電極材質：CuW，工作物材質：超硬合金 G6

写真 3 モジュール 0.022 の微細ギア創成加工例

写真 4 マイクロギア創成加工例の SEM 写真

11.2 微小モジュールのマイクロギア底付加工例
写真 3 は表 4 に示したギア緒元で加工されたマイクロギアの底付き創成加工例である。ワーク材質は SKD61，電極材質は銀タングステンが使用されている。加工条件は微細有消耗条件であるが、放電ドレッシングを繰り返すことで深さ精度 $\pm 0 \sim 2 \mu\text{m}$ の指定深さを実現している。面粗さは $2 \mu\text{mRz}$ である。

表 4 マイクロギアの加工諸元

	大径ギア	小径ギア
モジュール	0.04	0.022
歯数	10	10
ピッチ円直径 (mm)	0.4	0.22
歯先円直径 (mm)	0.48	0.26
歯元円直径 (mm)	0.26	0.165
加工深さ (mm)	0.01	0.03
電極径 φ (mm)	0.018	0.013

写真 5 微細形状創成加工例

表 5 微細創成加工例の内容

	円形	三角形
形状 (mm)	φ 0.14	φ 0.1 に内接
加工深さ (mm)	0.01	0.03
使用電極 (mm)	φ 0.018	φ 0.013
加工時間 (分)	26	8

11.3 微細形状底付き創成加工例

写真 5 は表 5 に示した円と三角形を組合せた微小形状の創成加工例である。工作物材質 SKD61，電極材質は銀タングステンで写真 3 の例同様、放電成形した微細電極を使用している。

11.4 微細形状テーパ底付き創成加工例

工作物材質 SKD61 にテーパ底付き加工を行なった例で写真 7 は加工断面、写真 8 は上面を示す。電極材質銀タングステンでテーパ先端 0.028 mmR 球の写真 6 に示す電極形状での創成加工例である。先端形状が微細であるため

写真6 先端 0.028 mmR 球の微小形状電極

極消耗は多くなるが、本例では銅タングステン電極で製作された1次電極でドレッシングを繰り返すことで目的の寸法に仕上げている。

12. お わ り に

本稿で述べた放電創成加工法は、微細精密分野でその特徴が発揮されると思われ、微細精密金型や部品、さらに、高アスペクト比加工や高硬度材加工に適用のメリットが見出せると思われ、今後の展開に期待が持たれる。

写真7 微小テーパ形状創成加工断面

写真8 微小テーパ形状創成加工例