

## 創成放電加工による加工精度評価\*

和合 健\*\*、田中 慎造\*\*

創成放電加工を企業での製品製造のための実用的な加工技術とするために、加工精度、加工時間、WEDG（ワイヤ放電研削法）などの事項について加工実験を行った。その結果、有用な結果が得られ十分に実用加工として適応できることを確認した。

キーワード：創成放電加工、WEDG、加工実験

## Evaluation of Scanning Precision for Electric Discharge Scanning

WAGO Takeshi and TANAKA Shinzo

We experimented on electric discharge scanning in order to use practical manufacture for products that experiment items were scanning precision, scanning time and WEDG (wire electro-discharge grinding). As the result, we had valuable data, possibility to use for practical manufacture in enterprises.

**key words:** electric discharge scanning, WEDG, experiment of scanning precision

### 1 緒 言

創成放電加工は棒状電極を使用し放電現象によりワークを融解除去して目的の形状に成型する。掘り込み形状の最小寸法は電極径に支配されるので電極径を小径成形する技術が要求される。電極を小径成形する加工方法はWEDG（ワイヤ放電研削法）と呼ばれ、機上においてワイヤ電極により放電加工方式で小径に成形し、理論値では数 $\mu\text{m}$ の径も可能となる。創成放電加工では電極の底面のみを使用して加工する新しい方法のため、今までの型彫り放電加工とは異なる加工プログラム作成が必要になる。加工精度、加工速度に適應した電極径、電極材種、加工電気条件などの選定が要求され、多くの組み合わせが存在するため、個々の条件での加工精度把握が必要になる。特に電極の底面消耗度の割合が大きいことが予想されることから高さ方向の加工精度把握は重要となる。さらに総型電極による大面積加工とは異なり小径電極の底面による一方向の加工のため加工時間が過大となることが懸念される。以上に示した創成放電加工での加工原理から想定される加工精度、加工時間に対する問題点、微細加工を行う上での有望技術としての期待など実用加工としての性能を明らかにすることを目的とする。

### 2 実験方法、結果及び考察

#### 2-1 目的

創成放電加工では棒状電極の底面のみを使用した加工方法であることから加工精度、加工時間、電極消耗率など多くの問題が予想される。そこで、加工指示値に対する加工後寸法を誤差として加工実験を行う。

#### 2-2 実験方法

##### 2-2-1 創成放電による加工精度

##### (1) 加工原理<sup>1)</sup>

図1に創成放電加工の基本的な加工原理、図2に送り方向の基本的な考え方を示す。創成放電加工では、図1に示すとおり、電極底面からの放電により加工を行うため電極底面の消耗率が大きく、これに伴いZ方向の消耗補正送量は大きくなる。電極消耗率が安定することによりZ補正量に対するXY移動量の比が求められ、高精度な形状精度が得られる。

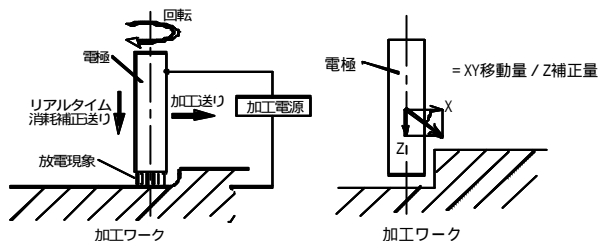


図1 創成放電加工での加工原理

図2 送り方向の考え方

\* 超精密加工技術の開発（特定産業集積中小企業等活性化補助事業）

\*\* 電子機械部（現在 電子機械技術部）

(2) 実験装置

表1に創成放電加工機の主な仕様を示す。創成放電加工機は三菱電機製のEDSCAN8Eで型彫り放電加工機を基本構造として微細放電加工に特化した特殊機能を付加した微細放電加工専用機である。加工後の測定では、XY方向は測定顕微鏡による非接触方式、Z方向は三次元測定機による有接触方式により長さを測定した。加工面粗さは接触方式により測定し、微細形状の観察ではCCDカメラによるマイクロスコプを使用した。

表1 創成放電加工機の主な仕様

項目	仕様
XYZストローク	300×250×250(mm)
XYZ軸制御方式	リニアスケールフィードバック
XYZ軸駆動単位	0.1(μm)
特殊機能	WEDG(ワイヤ放電研削法) μSF電源 創成放電CAM
加工面粗さ	0.3μmRy
加工面直直度	1.0μm以下

表3 多段形状での加工条件

加工条件	Eバック番号	加工タイプ	電極軌跡	加工時間	その他の加工条件
B1	825	荒	シフト	6h	電極径 0.5mm 電極材種 銅 電極形状 パイプ ワーク材種 SKD11
	827	仕上げ	シフト		
	827	仕上げ	輪郭		

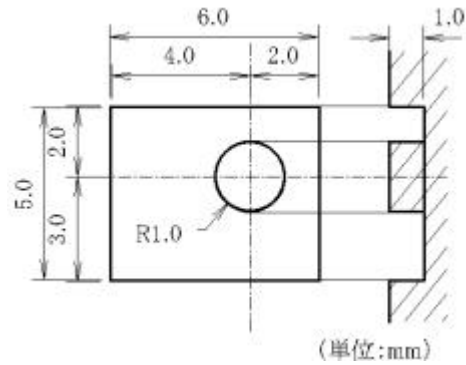


図3 簡易形状の設計図

(3) 実験方法

精密金型製作では加工精度が±2μm指示の高精度加工が要求される。モールド、ダイキャスト金型等の自由曲面部位や合わせの逃げ代などは比較的大きな公差となる部位もあり、創成放電加工で得られる加工精度を把握し、どの種類の金型製造へ適用できるかを検討する。ここでは創成放電加工で得られる加工精度を求めるために、表2に示す異なる加工条件設定で加工を行い、図3、図4に示す設計寸法に対する加工寸法の差を誤差とし、測定項目は長さ、形状、表面粗さとした。

簡易形状の場合

図3に示す四角形の掘り込み形状(以下、池形状)横6.0mm、縦5.0mmの大きさで内側に丸状の島形状2.0mmがあり、深さが1.0mmの形状を創成放電加工で成型する。評価は長さ、直径、粗さなどの項目について11箇所を測定し設計値との差を誤差とする。

多段形状の場合

図4に示す四角形の多段の池形状、横2.5mm、縦2.4mmの大きさで一段の深さが0.2mmから3段で0.6mmの深さについて創成放電加工で成型する。簡易形状での加工データを基に最適と思われる条件で加工を行う。評価は長さ、直径などの項目について16箇所を測定し設計値との差を誤差とする。

表2 簡易形状での加工条件

加工条件	Eバック番号	加工タイプ	電極軌跡	加工時間	その他の加工条件
A1	825	荒	シフト	3h23m	電極径 0.5mm 電極材種 銅 電極形状 パイプ ワーク材種 SKD11
A2	825	荒	シフト	1h33m	
	827	仕上げ	シフト		
A3	827	仕上げ	輪郭	2h44m	
	825	荒	シフト		
	828	仕上げ	シフト		
	828	仕上げ	輪郭		

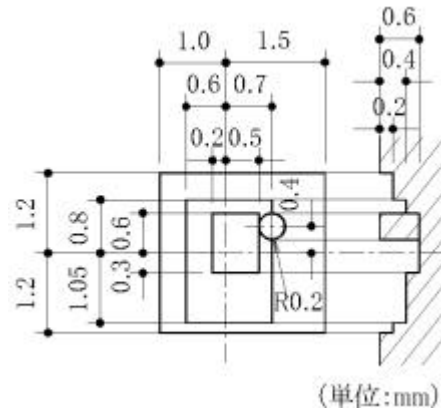


図4 多段形状での設計図

(4) 実験結果及び考察

簡易形状の場合

図5、6、7に簡易形状の加工後の拡大図、表4に粗さ誤差、表5に簡易形状の場合の形状誤差を示す。表2より加工条件A1では荒加工のみの条件であるが、予想に反して加工時間が3時間23分と最も長い。加工条件A2は荒、仕上げ(シフト)、仕上げ(輪郭)の3工程の条件であり、加工時間が最も短い1時間33分と切削加工を基準に比較すると長く感じるが、加工原理、優位性が異なることから単純比較は出来ない。加工条件A3は4工程の条件であり加工時間はA2より1段階多い1時間程度長い。誤差は加工工程を細分化し電気条件の弱い仕上げ加工条件で加工した場合ほど小さくなる。誤差の絶対値では、加工条件A3で誤差の平均値が7.6μmであり精密プレス金型の公差±2.0μmと比較して大きく、標準偏差でも5.2μmと大きい。金型用途にもよるが、精密金型に対応した製品製作を視野にいった場合ではさらに形状精度の高精度化が要求されると思われる。加工面粗さでは形状誤差と同様に仕上げ加工用の弱

い電気加工条件で加工面粗さが小さくなっている。旧 JIS による仕上記号 では Ra0.8  $\mu\text{m}$ 、Rz3.2  $\mu\text{m}$  (Ra、Rz は JIS B 0601:2001 による表面粗さパラメータで Ra: 算術平均粗さ、Rz: 最大粗さ) と定義されている。加工条件 A3 では Ra0.5  $\mu\text{m}$  と設計値 Ra0.8  $\mu\text{m}$  に対して公差を満たしており、Rz について公差 Rz3.2  $\mu\text{m}$  に対して Rz3.9  $\mu\text{m}$  と 0.7  $\mu\text{m}$  公差からはずれている。加工面粗さについてはマイクロ電源の選択、電気加工条件のより弱い選択などで設計値を満たすことが可能と思われる。

多段形状の場合

図 8 に多段形状の加工後の拡大図、表 6 に多段形状の場合の形状誤差を示す。全体 16 箇所を測定し設計値との差を誤差とすると誤差の平均値は 8.9  $\mu\text{m}$  となった。標準偏差で 6.5  $\mu\text{m}$  となり、簡易形状の場合での仕上げ工程を重視した加工条件 A3 での平均の誤差値で 7.6  $\mu\text{m}$ 、標準偏差で 5.2  $\mu\text{m}$  とほぼ同等な誤差値となっている。簡易形状に対して多段形状の場合は最大値で 20.5  $\mu\text{m}$  大きくなっている。微細な多段形状で隅 R の影響が大きく、形状の辺となる直線部となる隣合う隅 R との交線により小さくなっており、測定顕微鏡による測定でエッジ抽出が難しかった。今後、隅 R を小さくする対策と測定でエッジを正確に測定する技術の向上が必要と思われる。以上について微細形状での隅 R の問題点と測定技術を考慮し、誤差の平均値と標準偏差の大きさが簡易形状の場合と、より小さい多段形状でもほぼ等しいことから、指示形状の大きさに依存する加工精度の影響は小さく、電気的な加工条件により加工精度が決定されると思われる。次に加工時間について、複雑形状では加工時間が 6 時間と長くなった。実際に加工の様子を観察すると実加工時間(放電時間)とは別に電極消耗補正のための基準点参照動作の回数が多く、この動作により加工精度を維持する反面、加工時間を長くしているようである。

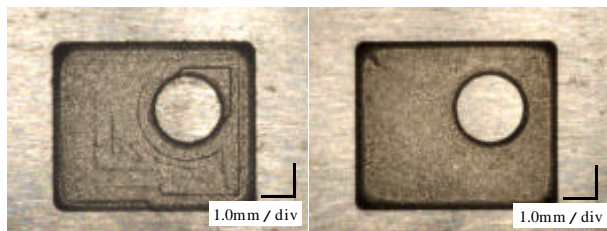


図 5 加工条件A1

図 6 加工条件A2

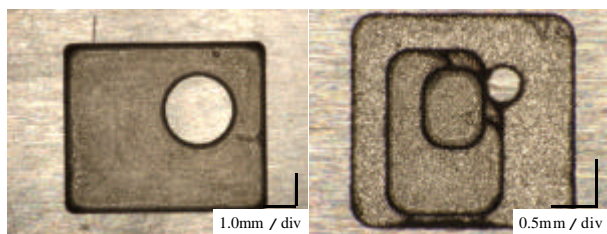


図 7 加工条件A3

図 8 加工条件B1

表 4 簡易形状での加工面粗さ

加工条件	種類	記号	(単位: $\mu\text{m}$ )		
			設計値A	測定値B	誤差B-A
A1	粗さ	Ra	0.8	1.8	1.0
		Rz	3.2	12.9	9.7
A2	粗さ	Ra	0.8	1.0	0.2
		Rz	3.2	6.3	3.1
A3	粗さ	Ra	0.8	0.5	-0.3
		Rz	3.2	3.9	0.7

1) JIS B 0601:2001によるRa 算術平均粗さ, Rz: 最大粗さ  
2) 設計値は仕上記号 によるもの

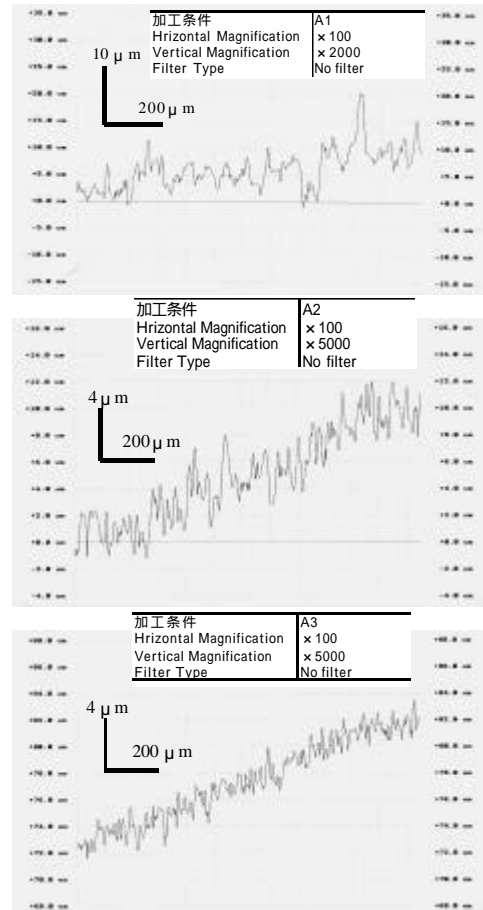


図 9 簡易形状での加工面の断面曲線

表 6 多段形状での誤差結果

No.	種類	記号	設計値 A(mm)	測定値 B(mm)	誤差B-A ( $\mu\text{m}$ )	B-A  ( $\mu\text{m}$ )
1	長さ	X	1.000	0.996	-4.1	4.1
2	長さ	X	0.600	0.601	1.0	1.0
3	長さ	X	0.200	0.216	15.9	15.9
4	長さ	X	0.500	0.501	0.9	0.9
5	長さ	X	0.700	0.708	8.4	8.4
6	長さ	X	1.500	1.515	14.9	14.9
7	長さ	Y	1.200	1.211	11.1	11.1
8	長さ	Y	0.800	0.808	8.0	8.0
9	長さ	Y	0.600	0.621	20.5	20.5
10	長さ	Y	0.300	0.306	6.1	6.1
11	長さ	Y	1.050	1.050	0.0	0.0
12	長さ	Y	1.200	1.196	-4.2	4.2
13	中心位置	CIRC-X	0.700	0.704	3.6	3.6
14	中心位置	CIRC-Y	0.400	0.410	9.7	9.7
15	直径		0.400	0.384	-16.5	16.5
16	真円度		0.000	0.017	16.8	16.8
					最大値	20.5
					最小値	0.0
					標準偏差	6.5
					平均値	8.9

表5 簡易形状での誤差結果

加工条件：A1

No.	種類	記号	設計値A (mm)	測定値B (mm)	誤差B-A (μm)	B-A  (μm)
1	長さ	X	4.000	4.032	32.0	32.0
2	長さ	X	2.000	2.020	19.8	19.8
3	長さ	Y	2.000	2.033	33.0	33.0
4	長さ	Y	3.000	3.020	19.8	19.8
5	直径	Z	2.000	1.932	-68.1	68.1
6	真円度		0.000	0.018	17.8	17.8
7	深さ	Z	1.000	1.030	30.1	30.1
8	深さ	Z	1.000	1.023	22.8	22.8
9	深さ	Z	1.000	1.016	16.3	16.3
					最大値	68.1
					最小値	16.3
					標準偏差	19.5
					平均値	32.8

加工条件：A2

No.	種類	記号	設計値A (mm)	測定値B (mm)	誤差B-A (μm)	B-A  (μm)
1	長さ	X	4.000	4.003	3.0	3.0
2	長さ	X	2.000	2.013	13.0	13.0
3	長さ	Y	2.000	2.010	9.9	9.9
4	長さ	Y	3.000	3.007	7.4	7.4
5	直径	Z	2.000	1.976	-23.9	23.9
6	真円度		0.000	0.010	10.4	10.4
7	深さ	Z	1.000	1.014	14.2	14.2
8	深さ	Z	1.000	1.013	12.8	12.8
9	深さ	Z	1.000	1.014	14.0	14.0
					最大値	23.9
					最小値	3.0
					標準偏差	5.7
					平均値	12.1

加工条件：A3

No.	種類	記号	設計値A (mm)	測定値B (mm)	誤差B-A (μm)	B-A  (μm)
1	長さ	X	4.000	4.008	7.9	7.9
2	長さ	X	2.000	2.004	4.3	4.3
3	長さ	Y	2.000	2.002	2.3	2.3
4	長さ	Y	3.000	3.006	5.8	5.8
5	直径	Z	2.000	1.983	-17.3	17.3
6	真円度		0.000	0.008	7.9	7.9
7	深さ	Z	1.000	1.003	3.4	3.4
8	深さ	Z	1.000	1.002	1.9	1.9
9	深さ	Z	1.000	1.000	0.3	0.3
					最大値	17.3
					最小値	2.3
					標準偏差	5.2
					平均値	7.6

(5) 結論

設計図を四角形の池形状、すなわち横 6.0 mm、縦 5.0 mm の大きさで内側に丸状の島形状 2.0mm があり、深さが 1.0 mm の簡易形状とした場合と、四角形の多段の池形状、横 2.5 mm、縦 2.4 mm の大きさで一段の深さが 0.2 mm から 3 段で 0.6 mm の深さの 2 つの形状について創成放電加工を行い、長さ、粗さなどの項目について評価した結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 誤差の平均値と標準偏差の大きさが、簡易形状の場合と、より小さい多段形状でもほぼ等しいことから、指示形状の大きさに依存する加工精度の影響は小さく、電気的な加工条件により加工精度が決定される。
- (2) ここでの仕上げによる電気加工条件の場合、誤差の平均値で 8.9 μm、標準偏差で 6.5 μm 程度の大きさに加工できる。しかし、ロッド電極径に依存する隅 R、非接触測定法による測定誤差の低減などの改善が必要となる。

2-2-2 WEDGによる電極小径成形

(1) 目的

微細形状加工では電極径の大きさにより加工形状の大きさが決定される。加工形状の大きさを微細化するために WEDG による電極小径成形は必要条件となることから WEDG による電極小径成形の微細化を試みた。

(2) 実験方法

1.0 mm のタングステン電極を使用し、WEDG マクロプログラム L97000102 により小径成形を行い、WEDG を行う上での加工技術を修得するとともに現状での最高位計測値を取得する。

(3) 実験結果及び考察

図 10 に 200 μm、長さ 1 mm に小径成形した電極、図 11 に 23 μm、長さ 760 μm に小径成形した電極を示す。材質はタングステン、成形に用いたワイヤ電極は 0.2 mm、材質は黄銅とした。200 μm、23 μm と小径化を行い、現状では 23 μm、長さ 760 μm でアスペクト比(縦/横の比) 33 の最高位計測値を得た。加工時間は 1 時間程度を要し、ロッド電極底面の平面度、ロッド電極振れ精度の高度化が必要になり、最終仕上げ径の小ささにより段取り精度が要求される。

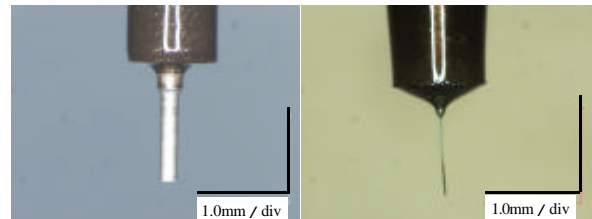


図 10 WEDG: 200 μm 図 11 WEDG: 23 μm

(4) 結論

電極材種をタングステンで電極径 1.0 mm から WEDG による最高位計測値として 23 μm、長さ 760 μm、アスペクト比 33 を得た。

3 結 言

創成放電加工を企業での製品製造のための実用的な加工技術とするために、加工精度、加工時間、WEDG(ワイヤ放電研削法)などの事項について加工実験を行い、有用な結果が得られ十分に実用加工として適応できる。

今後は、製品開発を視野に入れた創成放電加工による製品製造に取り組む予定である。

文 献

- 1) 湯澤 隆：微細創成放電加工技術の開発，三菱電機(株)技術資料