

ごく細パイプ電極を使用した細穴放電加工*

和合 健**、浅沼 拓雄**

本研究ではφ0.08mmパイプ電極を使用してφ0.1mm未満の細穴放電加工に取り組んだ。特に、φ0.1mm以下の領域では電極の機械的強さが要求されることを予想して、型彫放電加工ではほとんど使用しない黄銅を電極に使用した。その結果、電極材質が銅と黄銅では異なる放電加工特性を有することを確認した。

キーワード：細穴放電加工、電極径φ0.08mm、銅、黄銅

Pinhole Processing using Sinker Electrical Discharge Machining with Ultrafine Pipe Electrode

Takeshi Wago and Takuo Asanuma

We use sinker electrical discharge machining to fabricate minute holes <0.1 mm in diameter. The holes were machined using a 0.08-mm-diameter pipe electrode. An electrode made of brass is very rarely used for sinker electrical discharge machining because it requires high mechanical strength to produce such small electrodes (diameter <0.1 mm). Thus, copper and brass are found to have differing characteristics when used as electrode materials in electrical discharge machining.

key words : sinking electrical discharge machining of minute hole, φ0.08 mm of electrode diameter, copper, brass

1 緒言

Co-Cr-Mo 合金材は生体との親和性が高いため医療用器具としての商品化が進められており、骨と骨を接合するための Co-Cr-Mo 合金材のプレート製作はその商品化の一つである。骨とプレートを連結するには微細なボルト穴が要求され、ボルト穴径は小さいものではφ0.1mm未満の要求もある。放電加工は非接触加工法であるため、加工力が小さくφ0.1mm未満のボルト穴を加工する方法として適する。

φ0.1mm 未満領域の細穴放電加工は、曲がり剛性の弱い極パイプ電極用に専用設計した送り機構や細穴加工に特化した専用電源を持つ、所謂、細穴放電加工機が使用される。しかし、細穴放電加工機は特殊専用機であるため岩手県内企業では保有していない場合が多いことから、保有数の多い形彫り放電加工機を使用して取り組んだ。

ここでは、φ0.08mmパイプ電極を使用した放電加工による穴径φ0.1mm未満の細穴加工を目標にして取り組み、特に複数の電極材質についてその優位性の抽出を行った。目標値は、穴径φ0.08mm、L/D=3以上、加工時間6分/穴、連続穴加工数10個とした。

2 実験方法

2-1 基本機能

φ0.08mm程度の微細穴を開けるための基本機能は、①Z軸の降下に伴い、電極が振れ止めガイド穴通過時の

壁面との摩擦力で打ち勝ち、Z軸降下量対電極押出量が1:1となる機械的強さが有ること。②電極材質が電気的に強く、穴加工量の増加に対して、電極消耗が小さく抑えられることと定義した。基本機能が達成されていることを確認するための調査事項は、①各電極材質での加工深さ、②各電極材質での振れ止めガイドφ0.08mmを使用した場合での穴径、③各電極材質での電極消耗率とした。

2-2 電極材質

放電加工は、電極とワーク間に起こさせた放電の作用で、ワーク表面層を除去する加工法¹⁾であり、φ0.08mmパイプ電極として銅と黄銅の2種類の材質を取り上げた。一般的に形彫り放電加工の電極の材質は、電極自体が消耗し難いことが必要であるため、それに適する銅が使用されている。一方で、常に新しい電極が供給できるワイヤ放電加工では、電極自身の消耗は許されることから安価で機械的剛性の高い黄銅電極が主流となっている。

本実験で使用する電極材質は純銅(C1220)と黄銅(C2700)を選択し、黄銅は銅65%、亜鉛35%の割合とした。黄銅は銅よりも引張強さに優れ、φ0.08mmの極細パイプ電極でも腰があり取り扱い易く、細穴加工の電極に適すると予想される。

2-3 実験装置

実験装置は創成放電加工機(三菱電機製EDSCAN8E)を用いた。EDSCAN8Eは型彫放電加工機の本体に微細加工

* 平成25年度 基盤的・先導的技術研究開発事業、中東北3県公設試技術連携推進会議(共同研究)

** ものづくり基盤技術第2部(現 素材材技術部)

表1 内側の制御因子

因子		水準		
		1	2	3
A	付加電圧(GAP)	12	11	10

表2 割り付け表

No.	内側の制御因子	E) 外側の制御因子					
		E ₁ : 銅電極			E ₂ : 黄銅電極		
		N) 加工の繰り返し		S/N	N) 加工の繰り返し		S/N
	A) 付加電圧 (ノッチ)	N ₁	N ₂	η (db)	N ₁	N ₂	η (db)
1	12						
2	11						
3	10						

表3 共通条件

項目	設定値
マイクロSF回路	ON
コンデンサ回路	ON
電圧LOW回路	ON
ガイドの高さ (μm)	100
EパックNo.	—
回路選択	SF
OFF時間: AUX	6
極性切換	(—)
加工セッティング: IP	0
パルス幅: ON	0
休止時間: OFF	0
付加電圧: GAP	因子A
戻り速度: GAIN	25
上昇距離 :JUMP	0
上昇距離/降下時間	0 ↑ 1 ↓
サーボ電圧 :SV	0
電極材質	因子E
加工材	CCM合金
加工液	メタルワークスEDF-K2
加工液噴出強さ	7/10
回転数	200 /min
振れガイド径	φ0.08 mm / φ0.1mm
電極径	φ0.08 mm

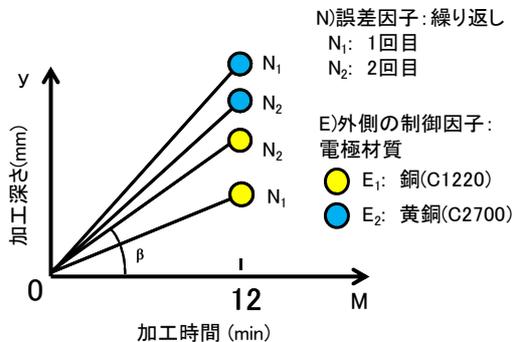


図1 入出力関係

電源を搭載した装置であり、加工目的に応じた電源を選択できる。この装置の放電加工を行う際の電気条件は、Eパックと呼ばれ、これは加工機械製造者が示す電気条件

の最適値である。

2-4 入出力関係

細穴放電加工の先の実験から、付加電圧 (GAP) が加工効率に対して大きい影響を与えることが既知である。ここでは過去の実験で得られた加工精度を重視した電気条件を使用することとし、表1のとおり内側の制御因子は付加電圧 (GAP) の1因子、3水準とした。

入出力関係は、図1のとおり入力が加工時間、出力が加工深さとし、信号因子は特性値を加工時間の1水準 (12分) を設定した。誤差因子は、加工の繰り返し2水準、外側の制御因子は電極材質の銅と黄銅の2水準として表2のとおり割り付けた。共通条件は表3のとおりとし、表2の外側に振れ止めガイド径 (以下、ガイド径という) φ0.08mm と φ0.1mm を割り付けて電極材質の特性を確かめた。

3 実験結果及び考察

3-1 感度βによる評価

ガイド径 φ0.1mm と φ0.08mm の場合で算出した銅電極と黄銅電極の実験番号毎の感度βを図2に示す。感度βは加工時間12分あたりの加工深さを示し、感度βが大きい程加工深さが大きいと判断する。ガイド径 φ0.1mm では実験番号7と12で感度βが大きい、全体的に銅と黄銅の双方で感度が小さい。対して、ガイド径 φ0.08mm ではガイド径 φ0.1mm よりも全体的に感度βが大きくなっておりこれはガイド内の遊び代が小さいため加工エネルギーが効率良く穴加工に向けられた効果であると思われる。ガイド径 φ0.08mm で感度βが大きい実験番号は銅で実験番号1と4、黄銅で実験番号7と10であった。

3-2 特性値による評価

ガイド径 φ0.08mm で電極径 φ0.08mm の場合、各特性値の結果を表に示し、加工深さを実験番号毎にプロットしたグラフを図3に示す。図3の実験では電極は φ0.08パイプ、ガイド径は φ0.08mm を使用した。図2に示した感度βのグラフでは入出力関係が加工時間と加工深さで

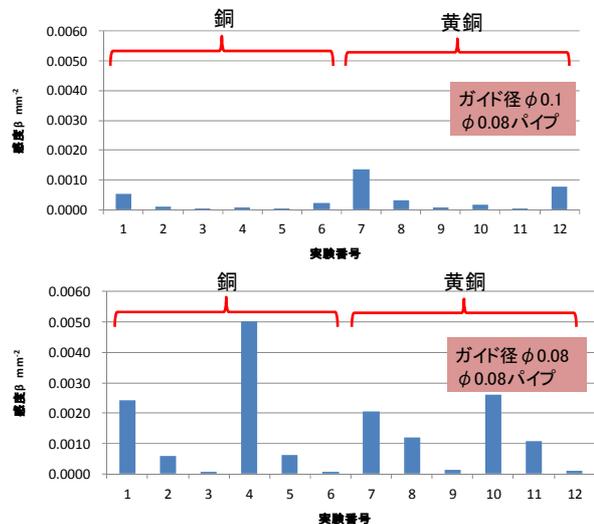


図2 実験番号毎の感度βの大きさ

ごく細パイプ電極を使用した細穴放電加工

No.	内側の標示因子	E) 外側の標示因子						
		E ₁ : 銅電極			E ₂ : 黄銅電極			
	A) 付加電圧(ノッチ)	N ₁	N ₂	S/N	η (db)	N ₁	N ₂	S/N
1	12	①	④	-24.6	⑦	⑩	-26.3	
2	11	②	⑤	-32.2	⑧	⑪	-29.4	
3	10	③	⑥	-41.7	⑨	⑫	-39.4	

実験No.	ワーク座標(X,Y)	最深部Z	表面部Z	加工穴Z	加工穴φ	真円度(8pnt)	電極消耗率(%)
①	2.0,8.0	-1.134	-0.544	-0.590	0.104	0.003	92
②	2.5,8.0	-0.491	-0.201	-0.290	0.098	0.004	69
③	3.0,8.0	-0.146	-0.044	-0.103	0.092	0.002	43
④	3.5,8.0	-1.739	-0.888	-0.851	0.109	0.002	104
⑤	4.0,8.0	-0.516	-0.216	-0.301	0.095	0.003	72
⑥	4.5,8.0	-0.148	-0.053	-0.095	0.094	0.004	56
⑦	6.0,8.0	-2.641	-2.095	-0.546	0.110	0.003	383
⑧	6.5,8.0	-1.092	-0.676	-0.417	0.100	0.002	162
⑨	7.0,8.0	-0.306	-0.170	-0.136	0.096	0.005	126
⑩	7.5,8.0	-2.637	-2.026	-0.611	0.107	0.005	332
⑪	8.0,8.0	-1.063	-0.669	-0.393	0.100	0.003	170
⑫	8.5,8.0	-0.288	-0.166	-0.122	0.095	0.004	136

銅
黄銅

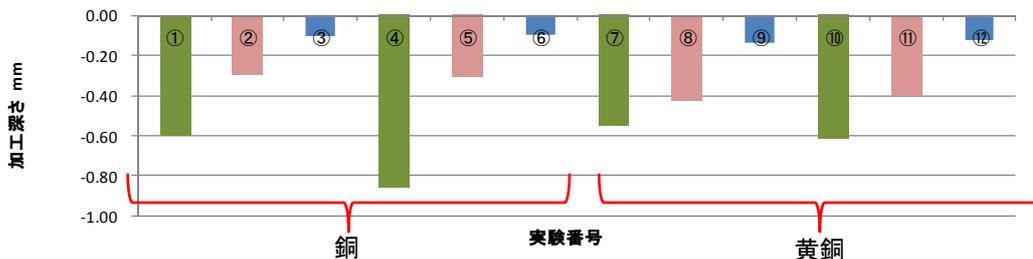
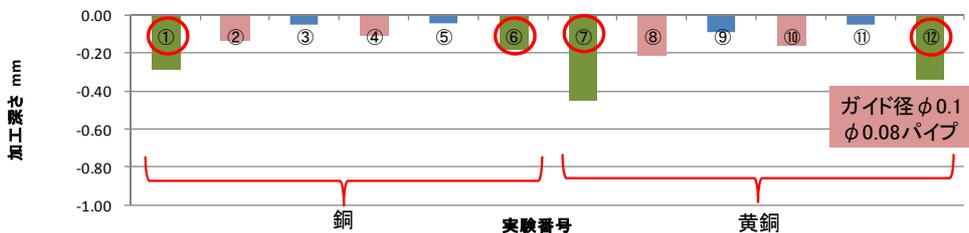


図3 ガイド径 φ0.08 mm、電極径 φ0.08 mm時の特性値による結果

	最適条件	穴深さ mm	穴径 mm	真円度 mm	電極消耗率 %
銅	①, ⑥	-0.228	0.129	0.004	95
黄銅	⑦, ⑫	-0.389	0.125	0.006	203



	最適条件	穴深さ mm	穴径 mm	真円度 mm	電極消耗率 %
銅	①, ④	-0.721	0.107	0.002	98
黄銅	⑧, ⑪	-0.405	0.100	0.002	166

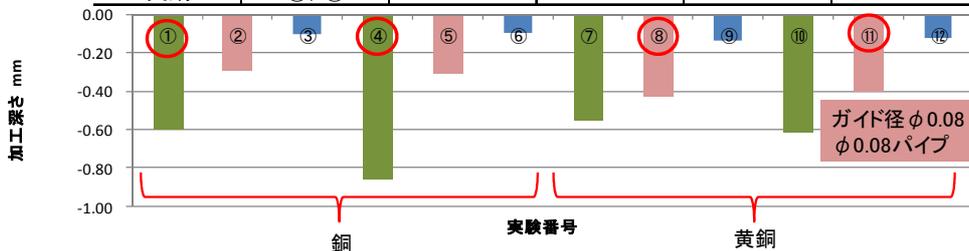


図4 ガイド径毎の特性値による結果

あるため図2と図3の実験番号毎の相対関係は変わらない。この図から最も注目できるのは電極材質が銅と黄銅での電極消耗率の違いである。各電極材質における実験番号6個の電極消耗率の平均値は銅で73%、黄銅で218%であった。型彫り放電加工では電極の消耗がワーク形状精度に大きく影響するために電極消耗は極力少ないこと

が必要となり、その場合では銅が適する。対してワイヤ放電加工では常に新しい電極が供給されるため電極自身も積極的に溶解してワークを溶解させる。黄銅は電極消耗は大きい加工深さは銅と遜色がない結果となった。

次に電極材質毎の最適条件を確かめる。ここでの制御因子は1因子A)付加電圧であるため個別の実験番号が最

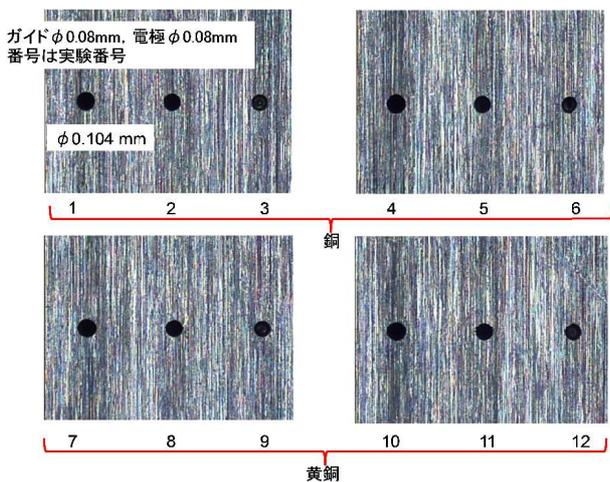


図5 振れ止めガイドφ0.08mmの加工穴

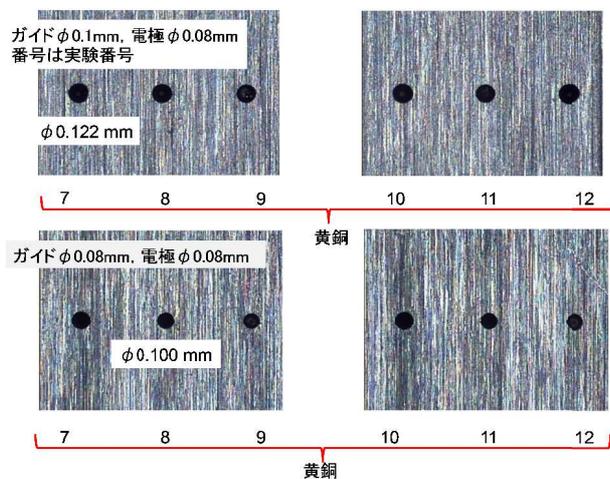


図6 振れ止めガイド径の異なる加工穴

適条件になる。特性値を加工深さで評価すると最適条件は銅で実験番号1と4、黄銅では実験番号7と10になった。実験番号1と4、及び実験番号7と10は、誤差因子とした加工の繰り返しであることから同じ加工条件の実験番号で良好な再現性を示していることがわかる。図2から電極材質が銅の最適条件は実験番号1と4で加工深さは平均値で0.7205mm、電極消耗率は平均値で98%であった。電極材質が黄銅の最適条件は実験番号7と10で加工深さは平均値で0.5785mm、電極消耗率は平均値で357.5%であった。実験番号8と11の加工深さの平均値は0.405mm、電極消耗率は平均値で166%であった。最終的には、加工深さと電極消耗率の両立を考慮して電極材質が黄銅の最適条件は実験番号8と11とした。最適条件のA) 付加電圧は電極材質が銅では12ノッチ、黄銅では11ノッチであった。

3-3 ガイド径による比較

ガイド径をφ0.1mmとφ0.08mmとした場合の最適条件の結果を図4に示す。ガイド径がφ0.1mmとφ0.08mmの実験における繰り返しの実験番号が異なることに注意して欲しい。加工穴径は、電極材質が黄銅時ガイド径φ0.1mmでφ0.125mm、ガイド径φ0.08mmでφ0.100mm

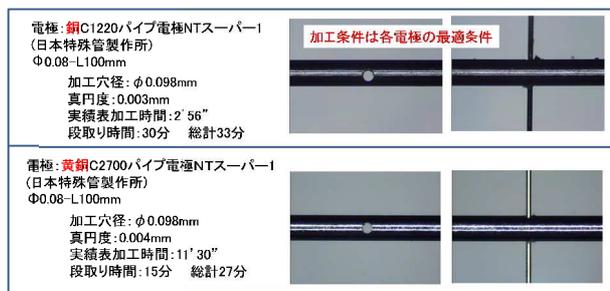


図7 棒材への細穴加工

SPRON510 (φ0.20mm-L60mm)
ガイドφ0.08mm



図8 棒材へのワイヤ通しサンプル

となった。このことからガイド径φ0.08mmで電極径φ0.08mmを使用した場合に電極の振れ量と放電ギャップの合計は半径あたりで0.010mmであった。図3の実験番号9と12の穴径の平均値はφ0.0945mmとなりφ0.1mmを下回るが、加工深さの平均値は0.129mmと加工効率が低下する。このことから付加電圧10ノッチでφ0.08mm電極を使用することでφ0.1mm未満の穴径加工が行えるが、加工深さの加工効率は穴径φ0.100mmの場合と比較して32%になった。

3-4 加工穴の観察

図5にガイド径φ0.08mmで電極径φ0.08mmでの実験番号毎の加工穴を示す。加工穴の真円度は良好で穴縁のバリは観察されず鋭利なエッジであることがわかる。図6に電極材質が黄銅、電極径φ0.08mmの場合のガイド径φ0.1mmとφ0.08mmの加工穴を示す。図中の番号は実験番号である。ガイド径φ0.1mmでは電極径φ0.08mmだと半径あたりの遊び代が0.01mmあるため真円度の劣化が予想されたが、良好な真円度が得られた。

3-5 検証実験

Co-Ni-Cr-Mo合金製φ0.2mm棒材に対し側面への細穴加工を行い、棒材と棒材の連結を想定してφ0.05mmのワイヤ挿入を試み、その結果を図7、図8に示す。使用したCo-Ni-Cr-Mo合金はセイコーインスツル(株)製のSPRON510である。ガイド径はφ0.08mmを共通として電極材質は銅と黄銅を使用した。銅は(株)日本特殊管製作所製C1220パイプ電極NTスーパー1、黄銅は(株)日本特殊管

製作所製 C2700 パイプ電極 NT スーパー1 である。その結果、図 7 に示すとおり、銅では加工穴径 $\phi 0.098$ mm、真円度 0.003 mm となった。黄銅では加工穴径 $\phi 0.098$ mm、真円度 0.004 mm となり銅と黄銅で同等な加工精度となった。

加工深さは棒材の直径が $\phi 0.2$ mm であることから貫通穴加工では深さ 0.2 mm になり、加工時間は銅で 2 分 56 秒、黄銅で 11 分 30 秒となった。この結果、銅が黄銅よりも 3.9 倍の加工能率を有していた。しかしながら、銅は機械的強さが小さいため固定持具への取り付けやガイド穴を通す作業で腰折れを多発し、非常に作業能率が低下した。段取り時間を作業者の感覚で評価した場合に、銅の段取り時間は 30 分、黄銅の段取り時間は 15 分となった。総合的な穴加工を含めた作業時間は、銅で 33 分、黄銅で 27 分となった。以下に作業者の棒材 (SPRON510 : Co-Ni-Cr-Mo 合金) への穴加工での所感を箇条書きで示す。

- ・ 図 8 に示した加工穴へのワイヤ線挿入では、加工穴 $\phi 0.1$ mm に対してワイヤ $\phi 0.05$ mm であり、ワイヤの先が穴を捉えれば、比較的容易に貫通するようだ。但し、穴径が $\phi 0.1$ mm と極小であるため肉眼で穴を見つけてワイヤ先端で穴を捉えるのは容易ではないようだ。
- ・ 電極の扱い易さは、電極保持ホルダへの手作業での電極挿入時に電極が曲がる程度の荷重がかかった場合は、銅は弾性が小さく、そのまま折れ曲がることが多い。対して黄銅は折れ曲がった場合でも原形を回復し易いため、黄銅のほうが容易であった。
- ・ 銅は腰が弱いと曲がり易く、スピンドル回転をかけ

ると電極が振れてガイドへの電極挿入が難しい。黄銅は真直性に優れガイドへの電極挿入は容易であった。

- ・ Z 軸マイナス方向への下降は、黄銅が剛性や真直性に優れて折れ曲がることは少なく、折れ曲がった場合でも回復力があり、腰折れ不良による電極交換が不要な場合が多かった。対して、銅はガイド通過時の穴壁面との摩擦負荷により電極が折れ曲がり、電極交換を要することが多かった。
- ・ $\phi 0.08$ mm の領域では段取りのツーリング性で黄銅の性能が銅よりも非常に優れている感触を得た。

4 結 言

- (1) 最適条件での加工深さは銅が 0.7205 mm で黄銅が 0.405 mm、穴径は銅が $\phi 0.107$ mm で黄銅が $\phi 0.100$ mm、電極消耗率は銅が 98% で黄銅が 166% であった。
- (2) ガイド径を $\phi 0.1$ mm と $\phi 0.08$ mm で比較すると、 $\phi 0.08$ mm の場合で穴深さが大きくなり、これは放電エネルギーが集中し良好な加工が実施できたものと考えられる。
- (3) ガイド径 $\phi 0.08$ mm では銅と黄銅の加工性能は接近した。注目点として、段取作業が合金としての機械的強さの効果から黄銅の場合で作業性が非常に良好であった。

文 献

- 1) 三菱電機株式会社：形彫放電加工技術資料 (2001)