

高アスペクト比の微細穴加工法の検討

山下弘之, 西川隆敏

Study of Precision Machining (8th Report)

Evaluation of machining conditions for micro hole with high aspect ratio

YAMASHITA Hiroyuki and NISHIKAWA Takatoshi

Machining the micro hole under 0.1mm diameter and high aspect ratio is difficult for EDM (electric discharge machining) because of the change for the worse of chips discharge and difficulty for machining small electrode. In this study, EDM conditions of micro hole in order to get depth over 1mm and high aspect ratio over 10th were evaluated by machining test. Next results were found;

- (1) 6 ~ 7th aspect ratio was limit for micro hole for cemented carbide on vertical EDM.
- (2) It was possible to machine micro hole with 75 μm, depth 0.85mm, aspect ratio 11.23 by applied to lateral EDM.
- (3) Whirling motion of small electrode improve the limitation of depth and aspect ratio of micro hole.

キーワード：微細穴, WEDG, 超硬, アスペクト比

1 緒 言

放電加工において直径0.1mm以下の微細な穴加工は、必要となる電極径が小さく通常のパイプ電極が使えない、微細な電極成形が難しいなどの点で困難な加工となっている。また加工深さも加工屑の排出性が悪化するため、穴径に対する限界加工深さ(アスペクト比)が直径0.1mmまでの穴に比べさらに小さくなり6~7倍程度が限界となる。このような微細穴の加工用に近年0.1mm以下のロッド電極が市販されはじめてはいるものの、現状は機上で微細軸電極を成形して穴加工を行うことが一般的に行われている。機上で微細軸電極を高精度に加工する方法にワイヤ放電研削法(WEDG法)¹⁾があり、その安定化及び加工時間短縮を目指した加工条件の最適化について昨年度研究を行い報告した。²⁾

本研究ではWEDG装置を用いて加工した微細軸により直径0.1mmを下回る微細穴加工を行い、現状困難な直径に対する加工深さの比(L/D)が10倍を越える高アスペクト比の微細穴加工を目指した加工条件の整備、加工方法の検討を行った。

2 実験方法

2.1 使用機器

放電加工機は三菱電機(株)製創成放電加工機EDSCAN8Eを使用し、本機のテーブル上に設置されたWEDG装置(ワイヤ放電研削装置)を使い微細軸加工を行った。加工前後の微細軸の径及び長さ、加工された穴径の測定は万能投影機及び機上に設置した光学顕微

鏡を使用した。

2.2 実験手順

加工対象とする材料は切削に用いる超硬チップ(P種: WC-TiC-TaC-Co, K種 WC-Co)及び微細金型用に用いられる超微粒子超硬AF1とし、3種類(約70, 50, 30μm)の直径の微細軸電極を使い穴加工を行った。その際極間電圧及びコンデンサ容量を変更し加工特性(放電ギャップ量, 電極消耗率, 加工速度等)に及ぼす影響を評価した。実験では放電加工機の回転主軸に電極材料(タンゲステン棒: 直径1mm)を取り付け、機上でWEDG装置により所定の直径の微細軸を加工した後、これを用いて微細穴加工を行った。加工条件を表1に示す。放電回路には加工機付属の微細放電用コンデンサ回路(RC回路)を用いた。極間電圧は54V, 74V, 100V, コンデンサ容量は0pF(加工機の浮遊容量のみ) 500pFとした。加工液は日石三菱メタルワーク EDF-Kとした。

表1 放電加工条件

	加工条件		
ワーク種	超硬種(K種), 超微粒子超硬AF1		
電極種	タンゲステン合金		
軸径	30μm	50μm	70μm
コンデンサ容量	0pF	500pF	
極間電圧	54V	70V	100V
加工液	日石三菱EDF-K		

3 実験結果と考察

3.1 微細穴加工特性の評価

3.1.1 各軸径に対する加工特性の評価

図1に直径70μmの電極を使用した場合の時間に対する電極押し込み量の変化を示す。また加工終了時の

電極消耗率で推定した加工時の穴深さ(図中:実加工深さ)の変化も合わせて示す。加工時の主軸送りこみ速度は、加工時の電流・電圧波形に短絡等の不安定が生じない速度になるよう調整した。各条件ともに加工開始から数分程度まで安定して加工が進む。その後加工が不安定となり主軸がサガ運動で上下する動きが頻繁に起こり始め加工速度が低下し始める。実験では加工速度が落ちるものの電極送りが停止するまでには至らなかったため、電極長さの許す限り最大 80 分まで加工を連続して行った。加工深さは極間電圧が大きいほど大きくなり 50V で約 0.3mm、100V では 0.67mm となった。放電ギャップ量も増加し穴径が 50V で 78 μ m から 100V で 95 μ m となった。実験した範囲内では極間電圧が大きいほど穴のアスペクト比 L/D も大きくなった。また加工後の軸の観察から先端部が若干丸みを帯びた形で消耗しているものの 顕著な付着物は見られなかった。

図 2 に直径 50 μ m 電極の結果を示す。70 μ m の場合と同様に加工開始から数分程度まで安定して加工が進み加工深さが大きくなるが、それ以降不安定となり加工速度が低下した。加工時間 80 分で終了した時点での加工深さは、全ての条件で 70 μ m の場合より小さく、極間電圧 100V、コンデンサ容量 500pF の条件でも 0.5mm 程度であった。また L/D も小さく電気条件の大きさに合わせピークを持つ傾向となった。

図 3 に直径 30 μ m 電極の結果を示す。加工開始から 5 分程度まで加工が安定して進むが、その後加工速度が徐々に低下していった。他の軸径と異なり若干加工速度が大きく加工時間 20~40 分程度でほぼ電極の長さ分(0.8mm)の加工が終了した。アスペクト比は比較的大きく 50V で L/D=10.11 と 10 を越えるケースも見られた。これは 30 μ m が 70 μ m に比べ電極断面積では 14% 程度に相当し、同じ放電条件の場合電流密度が大きくなる(理論的には約 5.4 倍)ため、比較的加工速度が大きくなったと考えられる。またこのことから 50,70

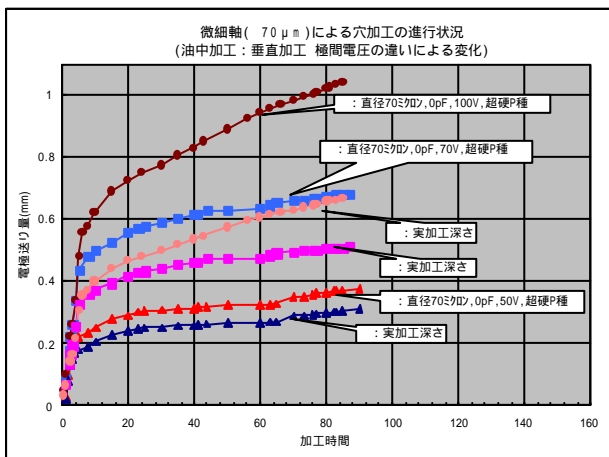


図 1 穴加工の進行状況 (電極径: 70 μ m)

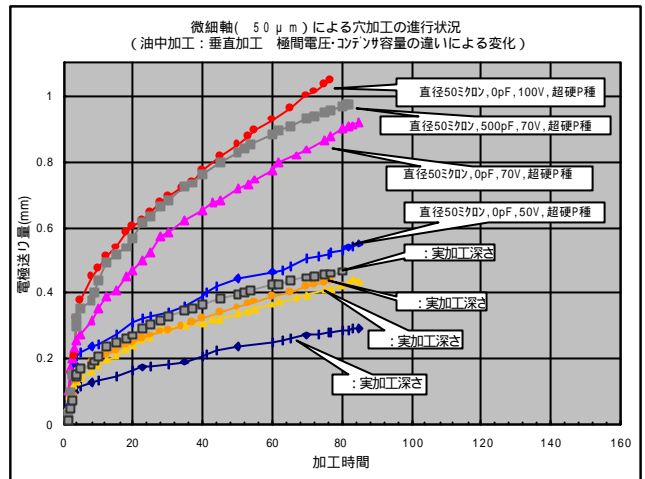


図 2 穴加工の進行状況 (電極径: 50 μ m)

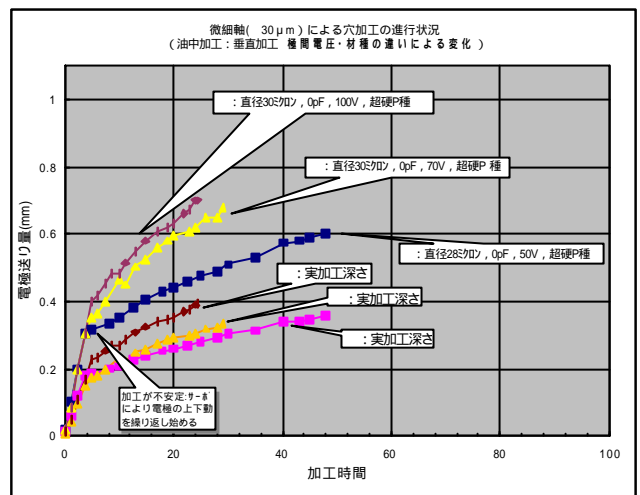


図 3 穴加工の進行状況 (電極径: 30 μ m)

μ m の軸径の場合はもう少し大きな放電条件での検討も必要であったと思われる。

3.1.2 超硬材料の種類による変化

図 4 に微細金型材料として一般的に使用される超微粒子超硬 AF1 を対象に穴加工をした結果を示す。AF1 はほぼ超硬 P 種と同じような加工特性を示すが、若干加工速度が速くなっていることが分かる。

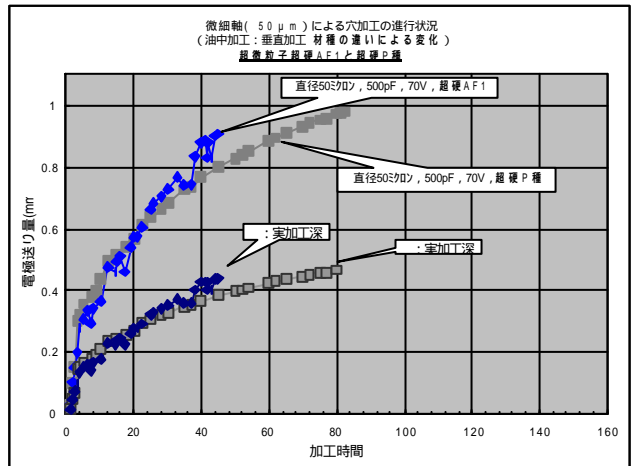


図 4 穴加工の進行状況

(材料の違い: 超硬 P 種と超微粒子超硬 AF1)

3.2 微細穴加工条件のデータベース化

図5に各放電条件での限界加工深さとアスペクト比の関係を示す。各軸径とともに極間電圧やコンデンサ容量の増加に伴いほぼ加工深さが大きくなった。しかし同時に放電ギャップ量も大きくなり穴径も大きくなった。放電ギャップ量は電極径が違って同じ放電条件ではほぼ同程度の値となっており、このため電極径が30 μm と小径の場合、軸径に対する放電ギャップ量の割合が大きくなり、加工深さが大きくなる効果より加工径が増加する影響の方が大きくなり、アスペクト比は放電条件が大きくなるにつれ下がる傾向となった。これに対し電極径が70 μm の場合、逆に加工深さ増加の効果が大きくなり放電条件が大きくなるにつれ加工深さ及びアスペクト比ともに大きくなった。中間の電極径50 μm では加工深さ、加工径への影響が釣りあう条件があり加工深さ、アスペクト比の変化がともに凸となった。電極径50 μm では極間電圧、コンデンサ容量等の放電条件を変化させても、加工状態を安定させるための改善がなければL/D=7程度が限界であることが分かる。このように0.1mm以下の微細な電極による加工の場合、加工する穴径によって使用する電極径、放電条件を適切に選ぶことが必要であり、また加工深さが大きくなるにつれて生じる不安定現象を改善しなければ、放電条件の変更のみでは高アスペクト比を得ることは難しいと考えられる。

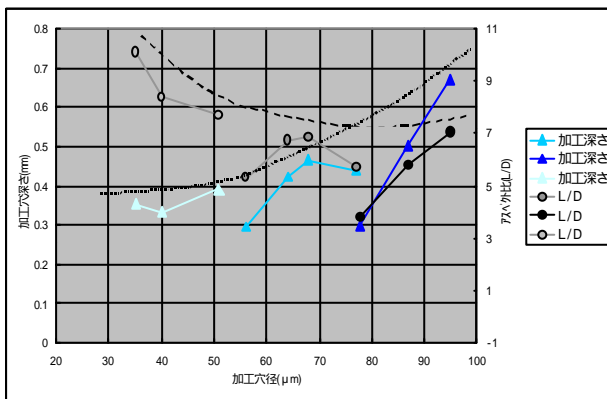


図5 穴加工特性のまとめ

3.3 水平方向からの微細穴加工の検討

3.3.1 横回転装置の試作

前項までの検討で通常の垂直に上から下に向けて穴加工する場合加工深さに限界が生じることが明らかとなった。そこで加工屑の排出性を改善し限界加工深さを増す方法として、増沢³⁾が行った水平方向からの加工を適用することを試みた。このためまず微細軸を水平方向に保持し回転させることができ、かつ通常の放電加工機主軸に取り付け可能な簡便な装置を試作す

ることとした。試作した回転装置の外観及び図面を写真1に示す。切削加工用の小型コレットを回転軸に用いこれをセラミックス製のV字型軸受けで保持し、最高回転数3,000rpmのDCモータによりプーリーを介して回転させる機構とした。給電は回転軸表面に金属ブラシを接触させて行った。この装置でタングステン丸棒を保持しWEDG装置により微細軸加工を実施した。回転数は2,000rpm、加工条件は通常の垂直方向からの加工と同様とした。その結果写真2に示すような直径54 μm で長さ1.4mmの微細軸電極が成形できることを確認した。この加工された微細軸を使い水平方向より超硬材料に穴加工することとした。

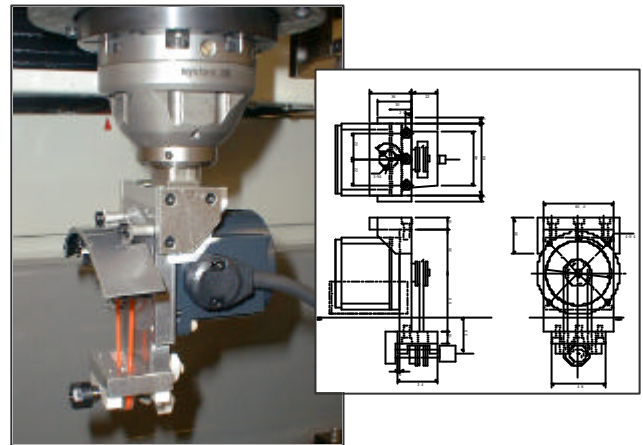


写真1 水平方向加工用電極回転装置



写真2 水平方向加工装置に保持された微細軸の様子

3.3.2 水平方向加工の適用結果

水平方向からの微細穴加工を行った結果を図6に示す。電極径は54 μm で加工条件は垂直方向の加工と同様の条件(コンデンサ容量0pF 極間電圧70V)とした。その結果加工開始から加工が安定して進み不安定となる加工深さが0.5mmを超えるまでに改善され、その後不安定となるものの最終的に加工された穴深さは垂直方向で約0.43mmに対し0.65mmと1.5倍の改善が見られた。加工径は76 μm で垂直方向の64 μm に比べ10 μm 程度大きくなっているが、電極径が違うこともあり放電ギャップ量で見ると水平方向が3 μm 程度大きくなっている。

実験を行う中で加工速度が速く安定した穴加工が行えたケースが数回あった(図6中 参照)。加工後の

軸の回転状態を正面より顕微鏡で観察したところ、偏心しながら振れ回っていることが観察され、加工された穴も垂直加工より大きく楕円形状であった。軸が高速に振れ回ることによって通常より放電ギャップが増加し加工径が大きくなり異形となり、また振れ回ることが加工屑の排出に良い影響を与え加工が安定したものと予想された。そこで擬似的にこの状態を再現する試みとして揺動加工を適用することとした。

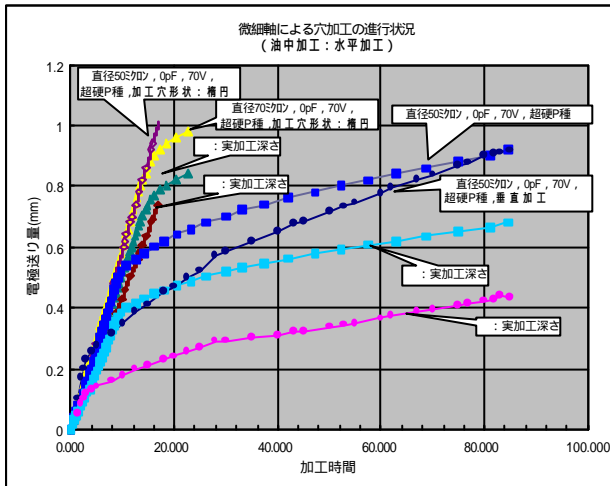


図6 穴加工の進行状況（水平方向加工の適用）

3.3.3 揺動加工の適用

電極径 $51\mu\text{m}$ 、片側 $3\mu\text{m}$ の揺動を与え、放電条件は（コンデンサ容量 $0\mu\text{F}$ 、極間電圧 70V ）で微細穴加工を行った。加工結果を図7に示す。揺動を与えることで加工深さが 0.85mm とさらに1割程度増加し、加工された微細穴も直径 $76\mu\text{m}$ でほぼ円形状となった。L/Dは 11.23 となり水平方向加工に揺動を付加することで、直径 0.08mm 以下の微細穴でアスペクト比が 10 を越える穴加工が可能となった。しかし電極送り量が 0.7mm を超えるところから加工が不安定となり、振れ回り時のような安定した加工は再現できなかった。また揺動なしに比べ加工初期の加工速度が遅くなっている。最終的に加工時間 80 分での到達加工深さは改善されているが、振れ回り時は揺動なしでの加工初期の速度とほぼ同じ速度で加工が行えるのに対し、ゆっくりとした加工となっている。これは加工機のサーボと連動した揺動運動では、加工不安定時にサーボによる軸が戻る動作が頻繁に生じるため加工速度が遅くなるもので、

その結果軸の振れ回りほどの高速な動きができず、ギャップが大きくなることによる排出効果の改善は見られるものの、振れ回りによる加工屑排出への効果が少なかったためと考えられる。

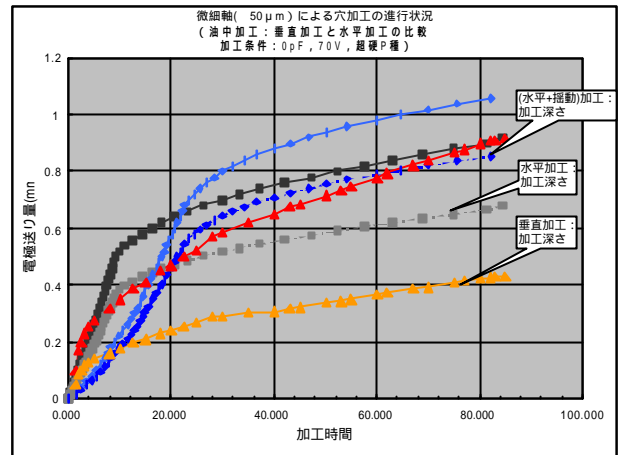


図7 穴加工の進行状況（水平方向加工：揺動の効果）

4 結 言

高アスペクト比の微細穴を得ることを目的に、放電加工条件に対する微細穴加工特性の整理を行い加工法の改善の検討を行った。その結果次のことが明らかとなった。

- (1) 超硬材料に対する 0.1mm 以下の微細穴加工に及ぼす加工条件の効果を整理した。その結果垂直方向の加工では穴深さは直径に対し $6\sim 7$ 倍が限界であった。
- (2) 水平方向からの穴加工により直径 $76\mu\text{m}$ 、加工深さ 0.85mm L/D 11.23 の高アスペクト比の微細穴加工が可能となった。
- (3) 加工時の電極の高速な振れ回りが微細穴加工の安定化に効果がある。

今後は振れ回りを再現する方策の検討、大きな電気条件での評価等が必要と考える。

文 献

- 1) T.Masuzawa, m.Fujino: Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-machining annas of the CIRP vol.34(1985), 1
- 2) 山下,他: 広島県西部工技研究報告, No.43(2000), 97
- 3) 許,増沢,他: 電気加工学会全国大会(1997)講演論文集, 105, 108