

放電軸加工技術に関する研究

城門由人
生産技術部

Study of Shaft Electrical Discharge Machining

Yukihiro KIDO
Production Engineering Division

要旨

放電軸加工技術 (SEDM: Shaft Electrical Discharge Machining) は、従来からあるワイヤ放電加工機で三次元形状加工を実現する放電加工の応用技術である。工作物を固定し、回転させる放電軸加工装置を加工テーブルに取り付けるだけで容易に数十 μm の微細軸や回転立体の三次元形状部品の加工が可能となる。例えば、直径5mmの軸を直径60 μm 、長さ1mmに加工するのに僅か7分30秒程度であり、従来数十分要していた加工を極めて短時間で完了できる。加工方法は通常のワイヤ放電加工と同様であるが、回転する工作物の加工であるから加工条件等がやや異なる。本報では、放電軸加工における加工特性等について評価したので報告する。

1. はじめに

放電加工は、形彫加工とワイヤカット加工に大別される。いずれも、導電性材料であればその硬さに関係なく加工が可能であることから高硬度材などの難加工材の加工に利用される。また、加工の高精度制御により直径数十 μm の微細な穴や1 μm 程度の形状寸法精度の部品等の作製が可能である⁽¹⁾。これらの放電加工技術は、切削による加工技術のほとんどが可能である。しかしながら、旋盤加工のような外形加工には対応できていない。直径数 μm の超微細電極を作製するために開発されたWEDG (ワイヤ放電研削法)⁽²⁾⁽³⁾が外形加工を行う唯一の放電加工技術である。WEDGは、超微細軸や高精度軸などの作製にその能力を十分に発揮するが、半径方向の切り込み量が大きく、加工長の長い加工には加工時間の問題から不向きである。本研究では、旋盤加工に代わる外形加工技術としてワイヤ放電加工機による放電軸加工法を確立する。これにより、難加工材の外形加工や微細軸の作製などが容易に実現できる。本報では、放電軸加工法のシステムおよび加工例を示すと同時に、その加工特性について評価した。

2. 装置と加工方法

放電軸加工は、被加工物を回転させる回転装置とその制御装置をワイヤ放電加工機に設置し、回転する被加工物をワイヤ放電加工するものである。図1に放電軸加工

の加工プロセスを示す。被加工物の回転は、先端側 (図手前側) から見て反時計回転を順回転方向とした。ワイヤは、上方から下方に向けて送り、移動をNC制御する。ワイヤ移動の制御によりストレート軸加工や三次元形状加工が行える。加工液を上下ノズルから噴出する吹掛加工とした。回転装置に固定した被加工物の回転中心高さは、下部ワイヤガイド (下部ダイヤモンドダイス上端部) より45.5mm上方である。一方、上部ワイヤガイド (上部ダイヤモンドダイス下端部) からの距離は、加工機のZ軸方向制御により最小で $Z_{U0}=7.6\text{mm}$ である。実際は、被加工物との干渉を防止するため被加工物の半径 r および隙間 s が加わり、実距離 $Z_U=Z_{U0}+r+s$ となる (図2参照)。本実験に使用したワイヤは $\phi 0.2\text{mm}$ 黄銅で沖電線株式会社製 (OB-20P) であり、ワイヤ放電加工機

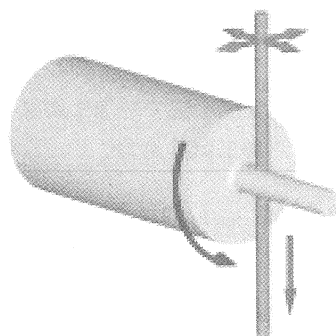


Fig.1 Machining process in SEDM

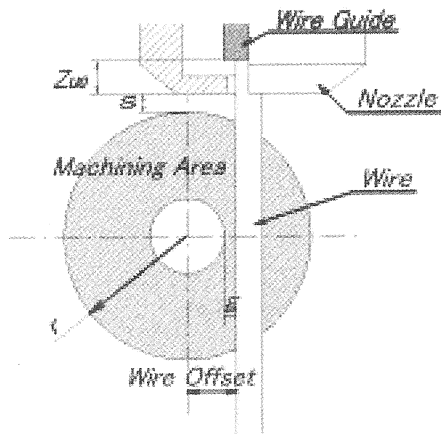


Fig.2 Configuration of SEDM

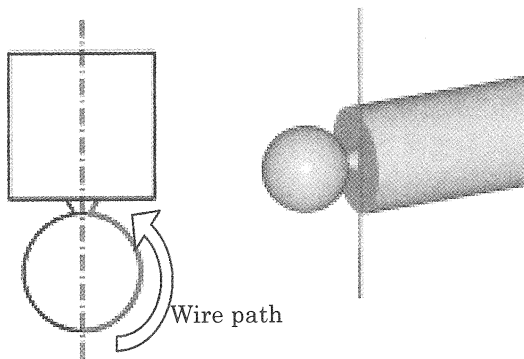


Fig.3 Wire path in SEDM

は、三菱電機株式会社製 SX-20P である。

3. 考 察

放電軸加工は、回転する被加工物を加工するため加工領域は図 2 に示すような断面領域となる。要求形状に応じて被加工物の回転中心からのワイヤオフセットを決定する。このとき、ワイヤオフセット量 R は、 $R > d/2 + g$ を満足すれば制限がない。ここで、 d : ワイヤ直径、 g : 極間隙間である。したがって、被加工物直径と加工直径の比が大きな加工に対応できる。このことから要求形状を単一工程で加工できるため加工時間を短縮することができる (図 3 参照)。

図 4 は、加工送り速度一定での加工面積と平均加工電圧との関係を示す。加工面積 A は、

$$A = \left(r^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right) \cdot \pi \doteq (r^2 - R^2) \cdot \pi$$

から算出した。 D は加工直径である。図より加工面積の増大に伴い加工電圧が低下する反比例の関係となることが分かる。つまり、平均加工電圧はワイヤオフセットの

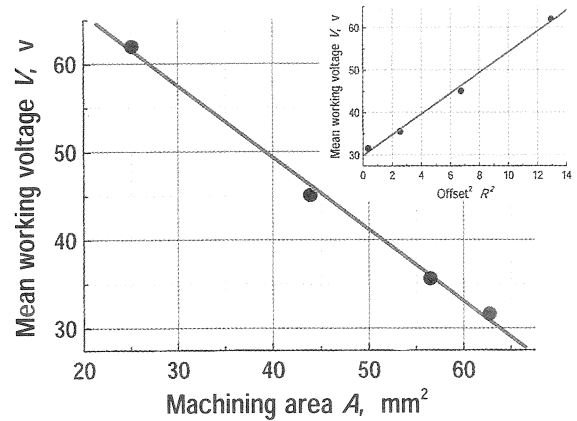


Fig.4 Relation between machining area and mean working voltage in SEDM

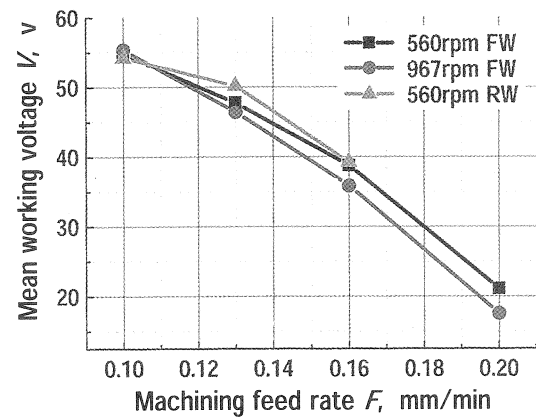


Fig.5 Effect of machining feed rate and work rotation on working voltage in SEDM

2 乗に比例する。図 5 の加工送り速度と平均加工電圧との関係より加工送り速度の増大に伴い加工電圧は低下することから、ワイヤオフセット量が大きくなるほど加工送り速度を速くすることで加工電圧の一定化を図ることができる。

図 6 は、被加工物の回転速度と平均加工電圧との関係を加工送り速度ごとに示したものである。図中の FW は順回転、 RW は逆回転を意味する。折れ線は加工を進行した場合の加工電圧の状態を、散布図は加工電圧の分布を示す。加工送り速度が速くなるほど加工電圧は低下し、かつ、不安定になることが分かる。一方、被加工物が高回転で回転するほど加工が安定する傾向にある。回転方向では、逆回転の場合加工が非常に不安定となり、加工送り速度 $F=0.2\text{mm/min}$ ではワイヤが断線した。このことから、図 5 の平均加工電圧が $560\text{rpmRW} > 560\text{rpmFW} > 967\text{rpmFW}$ のような結果を得たのは、加工の安定状態の影響であると理解できる。

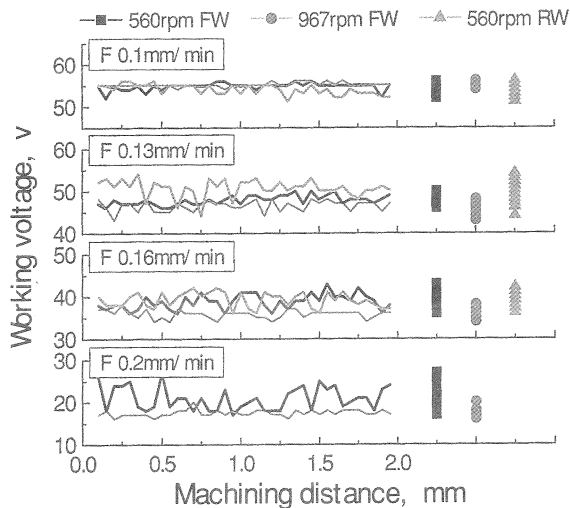


Fig. 6 Changes of working voltage for machining feed rate, $F=0.1, 0.13, 0.16$ and 0.2 mm/min

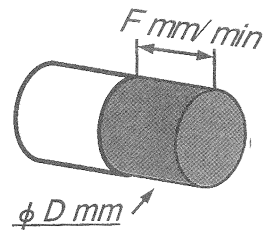
加工送り速度を速くすると加工が不安定になることを前述した。本実験では、加工送り速度の最大を 0.2 mm/min としたが、この速度は被加工物の直径と等しい厚さの板材のワイヤ放電加工に比べると非常に遅い。そこで、放電軸加工の加工送り速度について検討した。通常、板材をワイヤ放電加工する場合の加工速度は、単位時間あたりの加工距離で示される。しかし、放電軸加工では単位時間あたりに加工するのは体積となることから、放電軸加工における加工速度は単位時間あたりの加工体積で評価した。図 7 は、放電軸加工とワイヤ放電加工の加工速度の概念図である。放電軸加工の加工速度 F_v は、被加工物の直径を D とすると

$$F_v = \frac{D^2}{4} \pi \cdot F$$

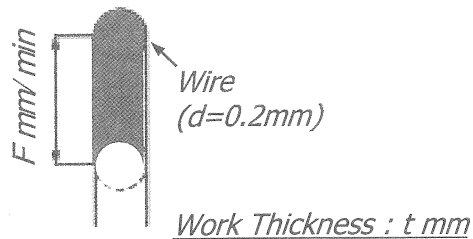
で表される。 F は加工送り速度である。ワイヤ放電加工では、ワイヤの進行距離とワイヤの投影面積の積が加工体積となるので

$$F_v = d \cdot F \cdot t$$

となる。ここで、 d はワイヤ直径、 t は被加工物の厚さである。これらの式で算出した放電軸加工速度及び浸漬・吹掛でのワイヤ放電加工速度を図 8 に示す。浸漬・吹掛でのワイヤ放電加工速度は、本実験で使用した三菱電機製ワイヤ放電加工機 SX-20P の加工特性データ集を参考にした。図よりワイヤ放電加工では、被加工物の厚さにより加工速度が変化することが分かる。また、吹掛ワイヤ放電加工速度は、浸漬ワイヤ放電加工速度のおよそ $80 \sim 70\%$ であることが分かる。図中の放電軸加工の加工速度は、直径 10 mm の被加工物の回転中心を加工送り速度 $0.1 \leq F$ [mm/min] ≤ 0.2 で加工した場合のものとした。



(a) Machining velocity in SEDM



(b) Machining velocity in WEDM

Fig.7 Images of machining velocity

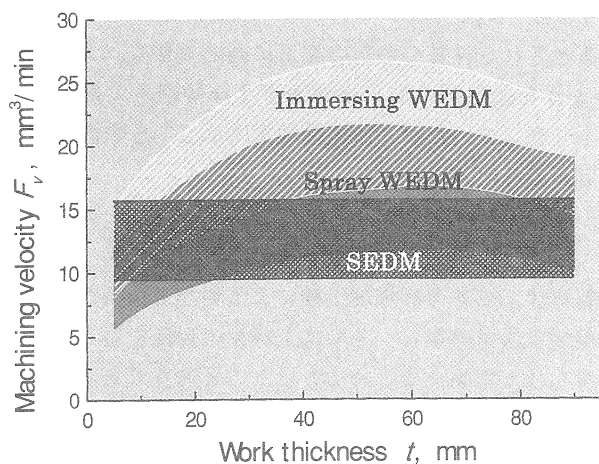
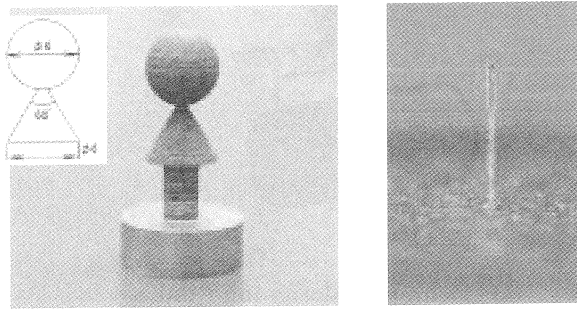


Fig.8 Machining velocity

本実験で行った放電軸加工は、吹掛法であることから吹掛ワイヤ放電加工と比較すると、放電軸加工の加工速度域は吹掛ワイヤ放電加工の安定加工速度域と重なることが分かる。したがって、放電軸加工における見掛け上の加工速度つまり加工送り速度はワイヤ放電加工に比べ遅く見えるが、実加工速度では安定加工速度域においてほぼ同等である。

図 9 に放電軸加工法での加工例を示す。(a)は球と円錐とが一体となった三次元形状品、(b)は $\phi 60\mu\text{m}$ 、長さ 1 mm の微細軸である。材質はそれぞれ INCONEL718、銅であり、 $\phi 9$ mm、 $\phi 5$ mm の素材から形状加工したものである。加工時間は、(a)約 150 分、(b)約 7 分 30 秒であった。(a)において加工電圧一定化制御は行わず、加



(a) 3D Shape (b) Rod, $\phi 60\mu\text{m}$, L1mm

	(a)	(b)
Material	INCONAL718	Copper
Machining time	150min	7.5min
Shape of Base material	$\phi 10\text{mm}$, Shaft	$\phi 5\text{mm}$, Shaft

Fig.9 Samples of SEDM

工送り速度一定とした。このように放電軸加工は、加工が困難とされる材質や形状の加工に適用できる。また、(b)のような微細軸の加工はさまざまな研削法で最短でも数十分要していたが、放電軸加工では 10 分未満で加工を実現できた。

4. まとめ

本報では、ワイヤ放電加工機による軸加工技術として放電軸加工法を考案し、その加工特性の評価をおこなった。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 従来からあるワイヤ放電加工機に放電軸加工装置を設置することで直径数十 μm の微細軸や三次元形状部品などの加工を実現できた。

(2) 従来の加工法では加工が困難とされる材料であっても導電性を有していれば微細軸や三次元形状の加工が可能であった。

(3) 要求形状の輪郭に沿って加工できるため単一工程で加工が済み加工時間を短縮できた。

(4) 加工面積と平均加工電圧は線形の関係があり、ワイヤオフセット量の 2 乗に比例した。ワイヤオフセット量による加工電圧の変化は、加工送り速度を制御することにより一定化を図ることができ、加工面積の変化による形状精度のばらつきを抑制できた。

(5) 被加工物を高速で回転させることにより加工が安定した。また、回転方向により加工安定状態が変化した。

文 献

(1) 齋藤長男・毛利尚武・高鷲民生・古谷政典, 放電加

工技術—基礎から将来展望まで, 日刊工業新聞社, (1997),113.

(2) T.Masuzawa, M.Fujino and K.Kobayashi, Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-Machining, Ann. CIRP, 34,1(1985) 431.

(3) 許東亞・増沢隆久・藤野正俊, 放電による微細工具製作の高速化—ツイン WEDG 加工システムの応用—, 電気加工学会誌, 35, 79(2001) 38.