

## 22 吊り下げ型電極を用いた曲がり穴放電加工技術の開発

山口 篤，浜口和也，平山明宏，後藤浩二，有年雅敏

### 1 目的

機械加工の一つに穴あけ加工があり、ドリルによる切削加工や棒状・パイプ状電極による放電加工が一般的である。これらの方法は、極細穴加工や深穴加工などの応用技術が開発され、広く実用化されている。

一方、ワーク内部で屈折や屈曲するような穴、すなわち曲がり穴は、冷却液通路や油圧部品の油通路などとして必要とされているものの、その加工技術は開発途上である。石田ら<sup>1)</sup>は、電極を圧縮コイルばねやワイヤなどで構成された装置で制御し、電極を運動制御する放電加工法を提案している。また、内山ら<sup>2)</sup>は電解加工法を用い、加工液の噴き出す方向を制御することによって曲がり穴加工を試みている。

筆者らは、できるだけ簡便な機構で曲がり穴加工を実現するために、球状等の加工用電極を細導線で吊り下げた電極（以降、吊り下げ型電極）を用いて放電加工を行う方法を考案した。その加工イメージを図 1 に示す。電極球は絶えず重力方向へ加工を進めようとするため、ワークを所定の角度に回転させることで、曲がり穴の加工を行うことができる。この方法は、一般の形彫り放電加工と異なり、電極球を固定していないために、ワークとのアーク放電による反力の影響を受けて振動しながら加工を進めることになる。このような固定していない特殊な電極を用いた研究例はなく、基礎的な加工情報も見当たらない。

そこで本稿では、吊り下げ型電極による基礎的な放電加工特性について調べるとともに、曲がり穴の加工を試みたので報告する。

### 2 実験方法

#### 2.1 吊り下げ型電極

吊り下げ型電極は、放電加工機主軸への取付部、導線、接合部、電極球から構成される。電極球は、直径 8.0mm のタフピッチ銅に図 2(b)に示すような穴加工を施し、穴部に 0.25mm のタフピッチ銅線を銀ろう（ナイス社製銀ろう Sil 1020-5M）で接合した。ワークは炭素鋼(S45C)を用い、加工が開始される部分にあらかじめ頂角 118°、直径 5mm の円錐形状の開先加工を施した。これは、加工開始時に電極球が弾かれなくするためであり、位置決めガイドの役目を果たす。

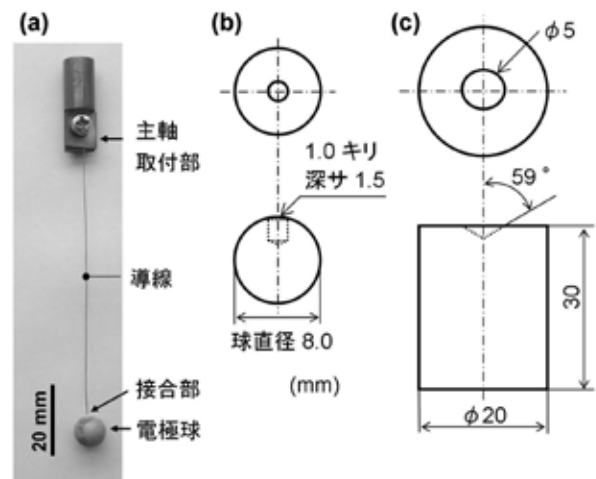


図 2 吊り下げ型電極の外観(a)、電極球の形状(b)、ワークの形状(c)

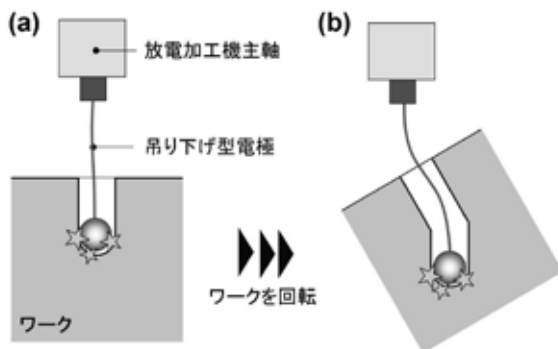


図 1 吊り下げ型電極による加工イメージ

#### 2.2 放電加工条件

放電加工実験には NC 形彫り放電加工機（Sodick 社製 APIL Premium）を用い、加工液は灯油系加工液（ソディックハイテック社製 VITOL2）を使用した。ピーク電流値( $I_p$ )は 29A とし、パルス幅（ON Time）を 50 ~ 400  $\mu$ s の範囲で変化させ、それぞれの場合の加工特性（加工速度、電極消耗率）を測定した。この実験は直線穴加工で行い、加工時間は 30 分程度とした。主要な放電加工条件を表 1 に示す。また、曲がり穴の加工実験では、ワークに 8.5mm、深さ 10 ~ 15mm の下穴をドリル加工であけ、ワークを所定の角度に傾斜させた状態で加工を開始した。曲がり穴加工時には、導線とワークの接触を避けるため、導線を PTFE チューブ（内径 0.5、外径 1.0）で被覆した。

表 1 放電加工条件

電極極性 (PL)	+
無負荷電圧 ( $V_0$ )	120 V
ピーク電流 ( $I_p$ )	29 A
パルス幅 (ON Time)	50 -400 $\mu$ s
デューティファクター	20 %
主軸ジャンプ動作 (JP)	停止

### 3 結果と考察

#### 3.1 吊り下げ型電極の放電加工特性

いずれの条件においても、導線および接合部は溶断することはなく、電極球は激しく振動しながらも穴加工が行えることが分かった。なお、ワークに円錐形状の開先加工を行わなかった場合は、電極が放電の度に振り子状に揺れて位置が定まらず、加工が開始できなかった。

図 3 は、パルス幅 (ON Time) と加工速度(a)および電極消耗率(b)の関係である。加工速度はパルス幅の増加に伴って速くなる傾向があるが、200  $\mu$ s 以上は約 0.2 g/min で一定となった。吊り下げ型の電極球は不安定で、アーク放電によって絶えず振動している。このため、適正なギャップを維持できず、実際の放電時間はパルス幅の設定値よりも短いと考えられる。このことによって、200  $\mu$ s 以上のパルス幅を設定しても、加工速度が速まらなかったと考える。一方、電極消耗率は、パルス幅と反比例して減少する傾向がみられた。これは、電極球の温度上昇に起因すると考えられるが、実際の放電時間、休止時間が電極温度に及ぼす影響が不明であり、今後の検討課題である。

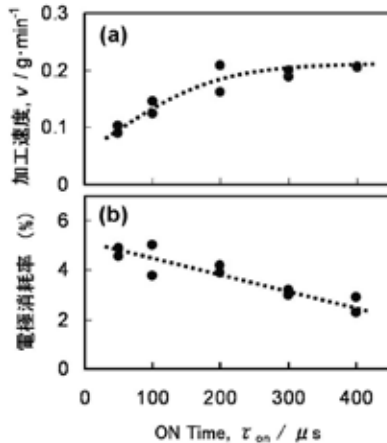


図 3 吊り下げ型電極による放電加工特性  
パルス幅 (ON) と加工速度(a)、電極消耗率(b)の関係

#### 3.2 曲がり穴加工

直線穴の途中から屈折する形状の曲がり穴加工を試みた。あらかじめ下穴をあけたワークを所定の角度 (下穴に対して 15° ~ 60°) に傾斜させて加工機に取り付け、下穴の真上に電極球を配置した状態で加工を開始した。

電極球は下穴に沿って降下し、下穴の底部付近で重力方向に加工を始めた。

図 4 にそれぞれの傾斜角度で加工した曲がり穴の断面写真を示す。15°、30°、45° の場合は下穴の底からほぼ所定の角度で屈折した穴が加工され、吊り下げ型電極を用いることで、ほぼ目的角度の曲がり穴加工が可能であることを示した。60° の場合は下穴の途中から加工されている。60° という大きな傾斜角度では、導線を大きく湾曲させる必要がある。しかし、導線および被覆チューブの剛性によって必要なたわみが得られず、電極球を下穴の底まで押し込むことができなかつたため下穴の壁面から加工が始まったと考える。

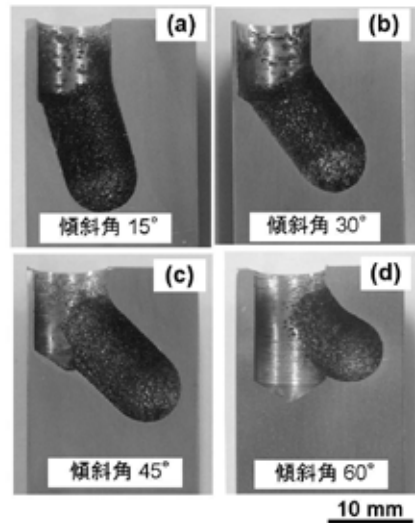


図 4 曲がり穴の断面

### 4 結論

吊り下げ型電極による放電加工特性を調べるとともに、曲がり穴加工を試みた。

直径 8.0mm 銅電極球と 0.25mm 銅導線を組み合わせた吊り下げ型電極は、約 0.2 g/min の速度で放電加工が可能であり、15° ~ 45° の曲がり穴が加工できることが明らかとなった。

### 謝 辞

加工実験は、兵庫ものづくり支援センター神戸の菅野技術コーディネータの協力のもとに行われた。

### 参考文献

- 1) 石田徹, 中嶋洋介, 三宅康仁, 竹内芳美: 精密工学会誌, **71**(2005), p262
- 2) 内山光夫, 野口与四郎, 国枝正典: 2009 年度精密工学会春季学術講演論文集, p867

(文責 山口 篤)  
(校閲 後藤浩二)