

放電加工用ダイヤモンド基複合電極の開発

第2報：PCD電極の基本放電加工特性

佐野定男*, 鍋倉伸嘉*, ○岩井学**, Anurag Sharma***, 植松哲太郎**, 鈴木清***
 (*㈱ソディック, **富山県立大学, ***日本工業大学)

Development of diamond based composite electrodes for EDM
 (2nd report: Basic EDM properties of PCD electrode for die-steel and tungsten carbide)
 Sodick Co., Ltd.: Sadao SANO, Nobuyoshi NABEKURA
 Toyama Prefectural University: Manabu IWAI, Tetsutaro UEMATSU
 Nippon Institute of Technology: Anurag SHARMA, Kiyoshi SUZUKI

Electrically conductive CVD diamond having high thermal diffusivity, when adopted as an electrode for micro EDM, showed very low wear compared to copper and Cu-W electrodes in the case of finish EDM condition of short pulse duration. This report deals with polycrystalline diamond (PCD), which has thermal conductivity similar to that of electrically conductive CVD diamond, as a new composite electrode material for EDM. Various properties of PCD with respect to EDM of die-steel (SKD11) and tungsten carbide (G5) workpieces are studied and compared with electrically conductive CVD diamond, copper and copper-tungsten electrode materials. Extremely low wear, 1/20 times of the Cu-W electrode in the case of EDM of tungsten carbide workpiece at short pulse duration and zero wear in the case of EDM of SKD11 can be realized.

1. はじめに

著者らは放電加工用電極の仕上げ加工領域における消耗の問題に対処するため、熱伝導率に優れた導電性 CVD ダイヤモンド(EC-CVD ダイヤモンド¹⁾)に着目し、油中および水中での形彫り放電加工を試みた。その結果、パルスオンタイムが1~10 μ sの短パルス領域においても油中では無消耗に近い加工を行えること、水中でも銅電極の1/20程度の消耗に抑制できることを見出した^{2,3)}。また、EC-CVD ダイヤモンド電極が油中で消耗し難いのは、短パルス領域においても電極表面にグラファイテックカーボンが生成されているためであることをラマン分光分析によって明らかにした。上記特性の反面、EC-CVD ダイヤモンドは高価であること、電極寸法・形状などに制約があることを考えると、オールマイティーな電極材料とは言えない。前報⁴⁾(第1報)では、ダイヤモンド粒子を銅粉中に分散させた焼結材、各種結合度のメタルボンド砥石、多結晶ダイヤモンド焼結体(PCD)などの各種ダイヤモンド基複合材料を電極材料として放電加工を行った結果、ダイヤモンド粒子同士が強固に結合している PCD 材料は EC-CVD ダイヤモンドとほぼ同等の放電加工特性を有することを見出した。

本報告では、EC-CVD ダイヤモンドよりも一桁程度安価で、切削工具等に多用されている PCD を電極として使用したときの放電加工特性を主としてパルスオンタイムとの関連で調べた。

2. 供試電極材料

種々のダイヤモンド粒径のPCDが市販されているが、ここでは粒径10 μ mのダイヤモンド粒子を高温高压焼結したCTB-010¹⁾(Element Six)を電極材料として選定した。比較のため銅、銅タングステン、EC-CVD ダイヤモンド厚膜(CVDITE-CDE, Element Six)も使用した。各種電極材料の特性を表1に示すように、EC-CVD ダイヤモンド厚膜の比抵抗が0.4~1 $\times 10^{-3}$ [$\Omega \cdot m$]であるのに対し、PCD(CTB-010)のそれは1.4 $\times 10^{-4}$ [$\Omega \cdot m$]と一桁低く、導電性に優れている。熱伝導率は前者が500~600[W/m \cdot K]であるのに対し、PCDのそれは約500[W/m \cdot K]であり、両者間の熱伝導率の差異は小さい。

3. 実験および結果

3.1 実験条件

放電加工実験は図1に示すように、幅5mmの多結晶ダイヤモンド焼結体(PCD)を電極として厚さ0.5mmの被加工材端面に対峙させて行った。被加工材は金型に多用されるダイス鋼(SKD-11)と超硬合金(G5)である。放電条件は、 $u_f=90V$, $i_f=3A$, $t_e/t_o=1/1 \sim$

表1 電極材料の特性比較

| 電極材料 | 多結晶ダイヤモンド焼結体 CTB 010 | 導電性 CVD ダイヤモンド CVDITE-CDE ¹⁾ | 銅 | 銅タンク ¹⁾ ステン |
|--------------------------|-------------------------|---|-----------------------|------------------------|
| 比抵抗 [$\Omega \cdot m$] | 1.4 $\times 10^{-4}$ | 0.4~1 $\times 10^{-3}$ | 17 $\times 10^{-9}$ | 6.8 $\times 10^{-9}$ |
| 比重 | 4.12 | 3.52 | 9.0 | 14 |
| ヤング率 [N/m^2] | 1000~1100 $\times 10^9$ | 1000~1100 $\times 10^9$ | 130 $\times 10^9$ | 255 $\times 10^9$ |
| 熱伝導率 [W/m \cdot K] | 459 | 500~600 | 400 | 188~295 |
| 熱膨張係数 | 4.2 $\times 10^{-6}$ | 1.0 $\times 10^{-6}$ | 17 $\times 10^{-6}$ | 6.5 $\times 10^{-6}$ |
| 熱拡散率 [m^2/s] | — | 0.27~0.33 $\times 10^{-3}$ | 0.12 $\times 10^{-3}$ | — |

表2 実験装置および条件

| | |
|------|---|
| 加工機 | 形彫り放電加工機 (AQ35L, ソディック) |
| 加工液 | 油 (Vitol 2, ソディック) |
| 電極材 | (1) ダイヤモンド焼結体 PCD (SYNDITE CTB-010, 5 $\times 10 \times 0.3$ mm, Element 6) (2) 導電性 CVD ダイヤモンド薄膜 (CVDITE-CDE, 5 $\times 6 \times 0.5$ mm, Element 6) (3) 銅(5 $\times 10 \times 3$ mm) |
| 被加工材 | ダイス鋼(SKD11, HRC61, t0.5mm), 超硬合金 (G5, t0.5mm) |
| 放電条件 | $u_f=90V$, $i_f=3A$, $t_e/t_o=1/1 \sim 30/30\mu s$, EDM depth=1.0mm (G5), 2mm (SKD11) |

30/30 μs で、ダイス鋼は深さ2mmまで、超硬合金は1mmまで加工した。

3.2 ダイス鋼に対する放電加工特性

図2に SKD11 に対する各種電極の放電加工特性を示す。銅電極は $t_e=30\mu s$ 以下になると急激に消耗し、

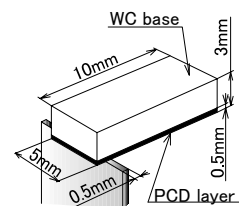


図1 PCD電極による被加工材端面の放電加工

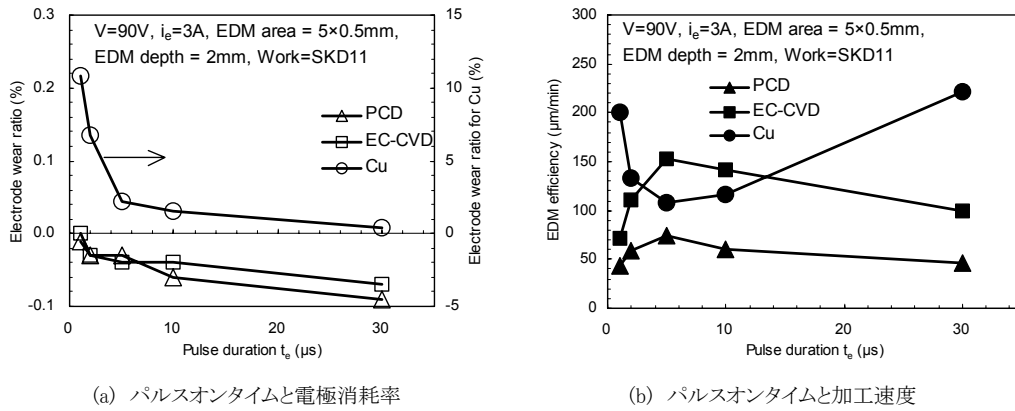


図2 SKD11 に対するパルスオンタイムの影響
($V = 90V$, $i_e = 3A$, EDM area = $5 \times 0.5mm$, EDM depth = 2mm)

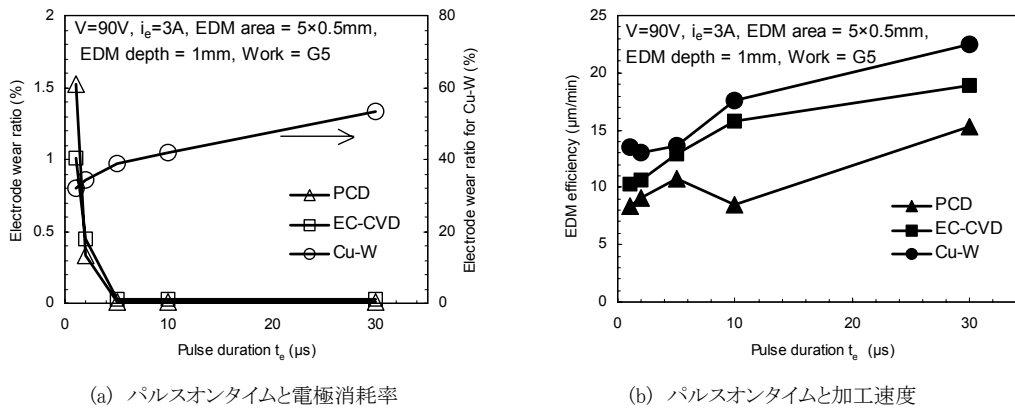


図3 超硬合金に対するパルスオンタイムの影響
($V = 90V$, $i_e = 3A$, EDM area = $5 \times 0.5mm$, EDM depth = 1mm)

$t_p=1 \mu s$ での消耗率は 11%と極めて大きくなった。それに対し、EC-CVD ダイヤモンド電極はこれまでの研究結果と同様に $t_p=1 \sim 30 \mu s$ の範囲で無消耗となっている。またパルス幅が長い場合にはグラファイティックカーボンが付着し、僅かではあるが電極が太った。PCD 電極のパルスオンタイムに対する電極消耗特性は EC-CVD ダイヤモンドとほとんど同じで、 $t_p=1 \mu s$ においても電極は全く消耗しなかった。

実用可能域である $t_p=30 \mu s$ での銅電極の加工能率は $220 \mu m/min$ で、他のダイヤモンド基電極材よりもかなり高いものの、パルス幅が短くなるに連れて能率は低下した。EC-CVD ダイヤモンド電極の加工能率はパルスオンタイムが長くなるほど増大し、 $t_p=5 \mu s$ で $155 \mu m/min$ を得たが、 $t_p=5 \mu s$ 以上では能率は漸減し、 $t_p=30 \mu s$ における能率は銅電極の約 1/2 となった。PCD 電極の能率は EC-CVD ダイヤモンド電極と同様の傾向を示したが、絶対量比較では約 1/2 となった。

3.3 超硬合金に対する放電加工特性

図3(a)に示すように、銅タングステン電極の消耗率は全てのパルス幅において 34%以上であるのに対し、EC-CVD ダイヤモンド厚膜、PCD の何れの電極も $t_p=5 \mu s$ 以上では全く消耗しない。 $t_p=5 \mu s$ 以下になると消耗が生じたが、PCD 電極の消耗率は 1.5%、EC-CVD ダイヤモンド電極の消耗率は 1%にとどまった。

図3(b)にパルスオンタイムと加工能率の関係を示す。何れの電極材料もパルスオンタイムが増すほど加工能率は高くなるが、加工能率は比抵抗の低い銅タングステンが一番高く、EC-CVD ダイヤモンド、PCD と続いた。PCD 電極による超硬合金の加工能率は $t_p=1 \mu s$ で $8 \mu m/min$ であり、ダイス鋼を加工したときの能率 $42 \mu m/min$ の 1/5 程度となっている。

4. おわりに

切削工具や耐摩工具に多用されている PCD を放電加工用電極材料として使用した結果、ダイス鋼および超硬合金の放電加工において、通常のパルスオンタイム領域から短パルス領域までの広い範囲($t_p=1 \sim 30 \mu s$)で EC-CVD ダイヤモンド電極とほぼ同等の耐消耗特性を示した。また、加工能率はダイス鋼をワークとした場合には EC-CVD ダイヤモンドの半分程度となること、超硬合金をワークとした場合は、80%程度となることわかった。PCD 電極が優れた放電加工特性を示したのは PCD 中のダイヤモンドが高い熱伝導性を持ち、バインダであるコバルトが高い電気伝導性を担っているためと思われる。このことから、原料ダイヤモンド粒径およびコバルトバインダ量を最適化すれば、より優れた電極特性を持つ PCD が出現するものと思われる。

本研究を行うに当たりご協力頂いたエレメントシックス㈱、(財)大澤科学技術振興財団に厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) エレメントシックス㈱, カタログ
- 2) K.Suzuki, M.Iwai, A.Sharma, T.Uematsu, K.Shoda, M.Kunieda: Electrical Discharge Machining Using Electrically Conductive CVD Diamond as an Electrode, ADC/FCT2003 (2003) pp.222-227.
- 3) 岩井学, 植松哲太郎, シャルマ・アヌラグ, 鈴木清他: 導電性ダイヤモンド電極による放電加工—第2報: 加工雰囲気の影響, 精密工学会春季大会講演論文集 (2004) pp.529-530.
- 4) 鈴木清, 岩井学, 二ノ宮進一, 佐野定男, 竹内恵三, 植松哲太郎: 放電加工用ダイヤモンド基複合電極の開発—第1報: 各種ダイヤモンド電極の提案, 精密工学会春季大会 (2005)