

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760090

研究課題名（和文）

ダイヤモンド焼結体（PCD）を利用した放電・研削逐次加工法による超精密金型加工

研究課題名（英文）

Precise die machining by combining EDM and grinding with a same PCD tool

研究代表者

岩井 学（Iwai Manabu）

富山県立大学・工学部・知能デザイン工学科・講師

研究者番号：30363873

研究成果の概要：光学部品などの製造に用いられる超硬合金製金型の高能率でかつ、より高精度な成形加工を実現することを目的に、ダイヤモンド焼結体（PCD）を用いた放電・研削逐次加工法を適用することにした。本方法は、放電成形した PCD 工具を電極として用いて放電加工を行った後、同じ PCD 工具で、若干の仕上げ代のみを次工程の研削加工で除去することで工具の摩耗を最小にしつつ良好な形状と面粗さを得ることができる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	360,000	3,560,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：超精密加工、マイクロ加工、放電加工、研削加工、ダイヤモンド、PCD、金型

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 電子機器に利用される光学部品は難加工材化とともに、要求精度がますます厳しくなっているため、その金型材料も従来の金型鋼や高速度鋼に増して高硬度な超硬合金が多用されるようになってきた。超硬合金への複雑な型加工は放電加工のみによって可能であるが、最適電極材料と言われている銅タングステンを使用した場合でも、電極材の消耗率が5～15%と大きく、高精度な超硬合金金型の製造において問題点となっていた。

(2) 申請者らは、適度な導電性、高熱拡散率

(従来の電極材の2～3倍)、高耐酸化温度(750℃+約200℃)の特徴を持つ導電性CVDダイヤモンド厚膜に着目し、世界で初めて放電加工用電極に適用した。その結果、電極消耗が激しくなる仕上げ条件(短パルス領域の条件)においても、油中では電極消耗がゼロであること、水中でも電極消耗が極めて少ないことを実験的、且つ理論的に明らかにした。これにより、電極消耗を特に考慮しなくても超硬合金の高精度加工を容易に実現できる見通しを得た。

(3) 上記特性の反面、導電性CVDダイヤモンド厚膜は高価であること、供給素材との関係

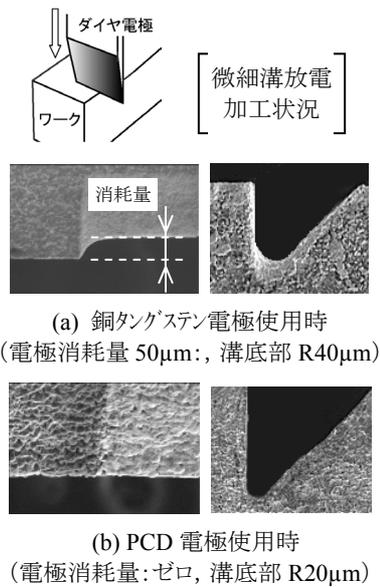


図1 PCD電極による超合金金型の微細形状放電加工特性

で製造可能な電極寸法・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。そこで、導電性CVDダイヤモンド厚膜よりも安価で、切削工具等に多用されているダイヤモンド焼結体(PCD)に着目し、超合金の放電加工に適用した結果、導電性CVDダイヤモンド厚膜電極と同様の電極無消耗特性を示すことが分かった。また、図1に示すように加工機械上で逆放電加工によって先端半径を $10\mu\text{m}$ 以下のナイフエッジ状に精密成形したPCD素材を電極として溝入れ放電加工を行ったところ、特定の条件で無消耗加工が実現できることを示した。さらに、PCD円盤外周面を鋭利に放電成形した円盤電極を回転させて用いれば、電極無消耗で微細溝加工が継続できることも明らかにしている。しかしながら、溝底部形状の崩れと溝の斜面部の表面性状が粗いという問題点を有しており、より精密で平滑な表面性状を得る加工を行うには、何らかの対策が必要であることがわかった。

(4) そこで、PCD表面の微細な凹凸が研削砥石の切刃としての能力を持つことに着目し、図2に示すように、一つのPCD工具で放電加工後に研削加工を連続して行い、仕上げ加工を行う「放電・研削逐次加工法」を考案した。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、超合金金型の高能率でかつ、より高精度な成形加工を実現することを目的に、PCDを用いた放電・研削逐次加工法を適用することにした。

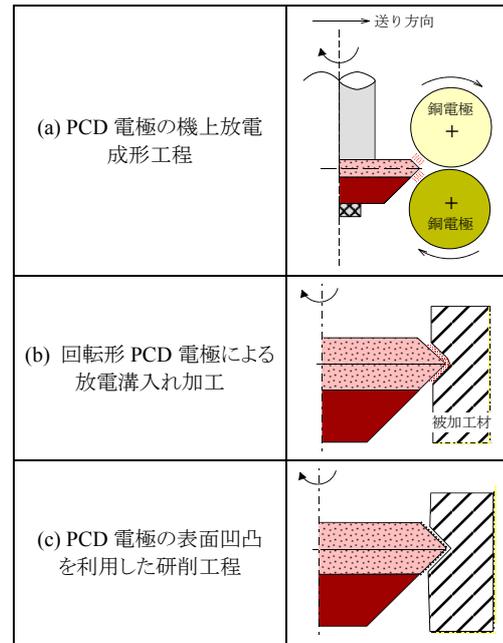


図2 放電研削逐次加工法の工程模式図

(2) 目的達成のため具体的には、①超合金金型の加工に適したPCD電極素材の特定と、②最適放電条件および研削条件の把握を行うとともに、③従来不可能であった微細で複雑な形状の高精度加工を試みた。

## 3. 研究の方法

### (1) ダイヤモンド焼結体(PCD)素材の特定

放電・研削逐次加工に適したPCD素材を主として市販品から選定した。

#### ① 放電加工用電極としての性能評価

PCDを構成するダイヤモンド粒径( $1\sim 25\mu\text{m}$ )や結合剤(バインダ)の種類や結合度の異なるものを購入し、放電加工特性との関係で評価した。

#### ② 電極および砥石としての成形性の評価

PCD工具の先端をより鋭利に成形することを目的に、ダイヤモンド粒径や結合剤との関係でPCD素材の特定を試みた。

### (2) 各種PCD工具による放電加工および研削特性の調査

PCD工具による放電および研削特性の関係を調査し、最適な使用条件を得た。

#### ① 電極無消耗条件の検討

円盤状PCD素材を電極とし、回転させながら放電加工を行う方式を採用した。微細形状の放電加工を行うため、放電加工条件を検討した。

#### ② 高能率・高精度・高品位条件の検討

放電加工により形状創成した後、PCD工具で研削仕上げを行うための研削条件の最適化を行った。また、研削仕上げ時の工具の消

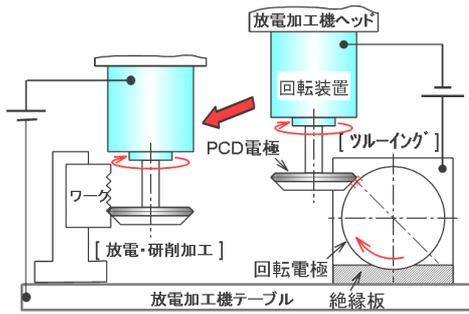


図3 機上放電ツルーイング法によるPCD砥石の成形とV溝研削加工の工程模式図

耗状況を調べた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 放電・研削逐次加工法の提案

申請者らは、過去に片V形PCD円盤砥石を放電ツルーイング法により試作し、ジルコニアセラミックスへのV溝彫り込みに使用できることを示している。本研究では、放電ツルーイングされたPCD素材の表面に創成された凹凸が上記のように十分な研削能力を持つこと、および導電性CVDダイヤモンド素材と同等の極低消耗放電加工特性を示すことを利用して、第1行程では回転PCD工具により「放電による溝入れ」を行い、第2行程では「研削による溝の仕上げ加工」を行う「放電・研削逐次加工（図2）」への適用を検討した。この方法では、PCD電極の成形から放電加工および研削加工までを機上で段取り替え無しに一つの工具で行えるため、高精度な加工が可能となると期待できる。また、工具の消耗も最小限に抑制できると考えられる。

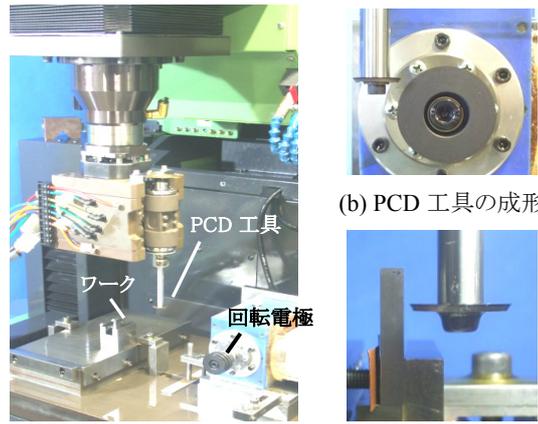
##### (2) 両V形PCD工具による放電・研削逐次加工

###### ① 放電加工用最適PCD素材の検討

電極創成時の被放電加工性（成形性、形状精度、表面粗さ）が良好で、電極としては消耗が少ないPCD素材（Element Six）を“放電・研削逐次加工”用の電極・研削兼用工具材料とした。また、良好な研削面粗さと形状製を得ることに主眼を置く場合は、PCD工具素材として細粒のPCD素材が適していることがわかった。

###### ② 実験装置および条件

形彫り放電加工機に装着した回転電極アタッチメントに軸付きPCD円盤電極を取り付けた。これに対して放電成形装置の回転銅電極を直交させて配置し、PCDの極性を「-」として両V形（頂角90度）に機上放電成形した（図3、4）。



(a) 実験装置概観

(b) PCD工具の成形

(c) PCD工具とワーク

図4 形彫り放電加工機に装着したPCD工具回転ユニットおよび放電ツルーイング用電極回転ユニット

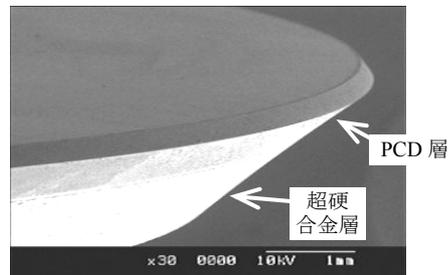


図5 機上成形したV形PCD工具

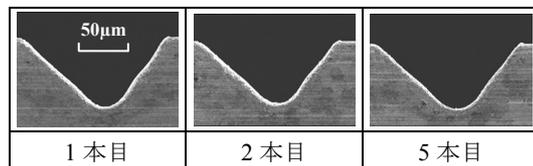


図6 放電加工により超硬合金に彫り込んだV溝  
( $u_t=60V$ ,  $i_c=1A$ ,  $t_c/t_o=100/100\mu s$ ,  
 $N=1500min^{-1}$ ,  $a=100\mu m$ )

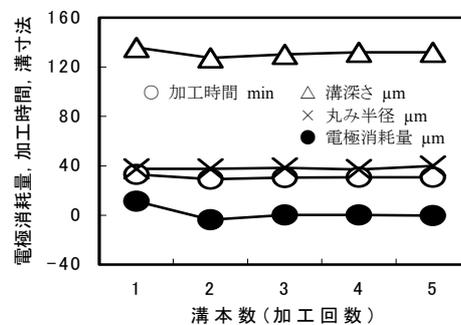


図7 放電V溝の加工特性

( $u_t=60V$ ,  $i_c=1A$ ,  $t_c/t_o=100/100\mu s$ ,  
 $N=1500min^{-1}$ ,  $a=100\mu m$ )

### ③ 連続放電溝入れ工程

図5に放電ツールイングされたPCD工具の外観を示す。PCD電極を回転させながら連続して5溝の加工を行った。図6および図7のように溝の形状はほとんど変化していないことから、無消耗放電加工が行えていることが確かめられた。これはPCD工具の表面に、図8に示すように薄いグラファイティックカーボンが付着していることからわかる。

### (3) 放電・研削逐次加工工程

本実験では、先ず所定切込みで2溝放電を行い、3溝目と4溝目は放電溝入れ後直ちに研削仕上げを行い、最後の5溝目は放電のみによる溝入れを行った。結果を図9および図10に示す。放電加工時の溝底丸み半径は $r=40\mu\text{m}$ であったのに対し、研削後は $r=10\mu\text{m}$ となった。また、放電加工によるV溝斜面部の表面粗さ(最大高さ)は $Rz=2.0\mu\text{m}$ 程度だったが、研削仕上げによって鏡面( $Rz\approx 0.2\mu\text{m}$ )になっていた。

以上の結果から、主軸に取り付けた単一のPCD工具を用いて、放電溝入れ加工および研削加工を逐次的に行うことで、PCD工具の消耗を最小にしつつ、良好な形状および面性状が得られることが確かめられた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 佐野定男、岩井学、植松哲太郎、鈴木清、各種多結晶ダイヤモンド焼結体(PCD)電極の放電加工特性、砥粒加工学会誌、Vol. 52, No. 5, 283-288, 2008年、査読有
- ② 佐野定男、岩井学、植松哲太郎、鈴木清、多結晶ダイヤモンド焼結体の放電加工への応用に関する研究(第1報:各種ダイヤモンド基複合電極による放電加工)、電気加工学会誌、Vol. 42, No. 100, 65-72, 2008年、査読有
- ③ 佐野定男、ハンイリ、岩井学、二ノ宮進一、植松哲太郎、鈴木清、PCD工具を利用した放電・研削逐次加工法の開発、砥粒加工学会誌、Vol. 52, No. 9, 537-542, 2008年、査読有

[学会発表] (計1件)

- ① 岩井学、導電性ダイヤモンドの高速摺動研磨(第1報:通電加熱援用高速摺動研磨法の提案)、2009年度精密工学会春季大会学術講演会、2009年3月11日、中央大学(東京)

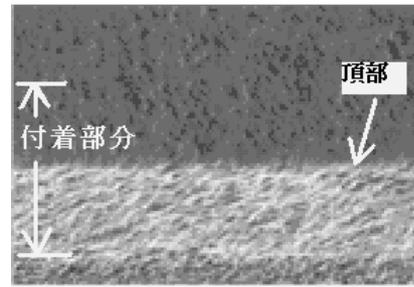


図8 放電加工後のPCD工具へのグラファイティックカーボンの付着状況  
( $u_f=60\text{V}$ ,  $i_e=1\text{A}$ ,  $t_e/t_o=100/100\mu\text{s}$ ,  $N=1500\text{min}^{-1}$ ,  $a=100\mu\text{m}$ )

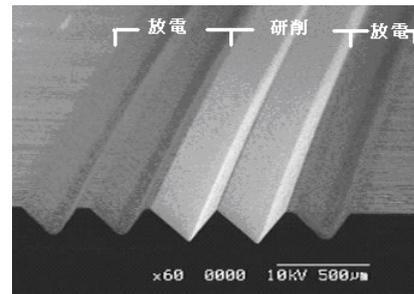


図9 放電および放電・研削逐次加工されたV溝の外観(超硬合金)

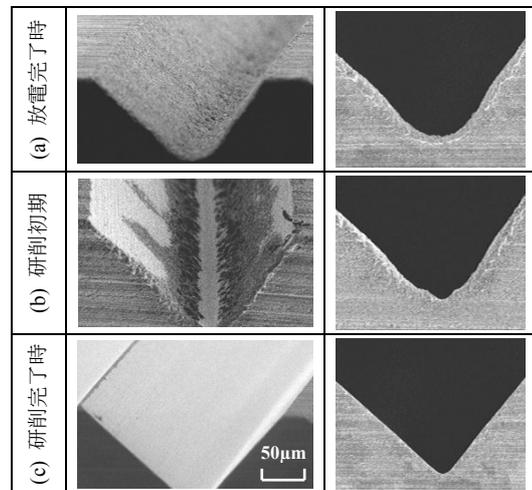


図10 各工程における溝外観および溝断面形状

## 6. 研究組織

研究代表者

岩井学 (IWAI MANABU)

富山県立大学・工学部・知能デザイン工学科・講師

研究者番号: 30363873