

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月20日現在

機関番号：32407

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760102

研究課題名（和文） 導電性ダイヤモンドを原料とする新PCD工具の開発とその加工法に関する研究

研究課題名（英文） Research on development of the new PCD tool made of an electrically-conductive diamond and its processing method

研究代表者

二ノ宮 進一（NINOMIYA SHINICHI）

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80453950

研究成果の概要（和文）：導電性ダイヤモンド粒子を原料としたEC-PCDは、既存の市販PCDと比較して、形彫り放電加工、放電研削およびワイヤカット放電成形において優れた加工能率と被加工面粗さを得る。EC-PCD製円盤工具のV字形状放電成形も可能で、極めてシャープなエッジ形状となった。また、メタルボンドダイヤモンド砥石を用いた放電複合研削では、PCDの高効率・高品位加工を実現できる可能性を見出した。EC-PCD素材を加工工具、金型、電極および精密部品として活用するための指針を得た。

研究成果の概要（英文）：A new PCD (EC-PCD) made up of electrically conductive diamond particles has good processing characteristics outstanding in EDM, EDG, W-EDM and complex electro-discharge grinding method, compared with the existing commercially available PCD. Electro-discharge forming for a V shape grinding wheel made of EC-PCD is also possible. In this case, the edge of the EC-PCD wheel became very sharp. Furthermore, in the complex electro-discharge grinding by using a metal bonded diamond wheel, it is found that the high-efficient and high-precision processing of PCD would be realizable. The guideline for utilizing an EC-PCD material as a cutter, a grinding wheel, a mold tool, an electrode, and precision parts was acquired.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：切削，研削，放電加工，機械工作・生産工学，材料加工・処理，精密部品加工

1. 研究開始当初の背景

(1) PCDの特徴と問題点

微細なダイヤモンド粒子を少量のコバルトを触媒として高温高圧下で焼結したダイヤモンド焼結体(PCD)は、高硬度でありながら耐チップング性にも優れており、難削材用の切削工具や耐摩工具に多用されている。

通常、PCD製工具などは、ワイヤ放電加工によって所望形状に切断した後、研削加工によって仕上げられる。しかし、既存のPCD中のダイヤモンド粒子は導電性を持たないことや、高硬度なダイヤモンド粒子同士がインターグロースしているなどの理由から、放電による除去も研削による除去も容易でない。例えば、PCDの放電加工では、既存P

CD中のダイヤモンド部を放電除去できないため、極端に加工能率が低くなる。併せて良好な被加工面性状を得ることは難しい。PCDの研削加工では、ダイヤモンド砥石の使用を余儀なくされるが、直ぐに砥石が目つぶれを起こし、加工不能になり易い。したがって、頻繁なドレッシングが必要となり、加工能率の低下や加工コストの増大を誘発している。難削材を加工する優れた工具特性を備え、さらに素材自身を所望の工具形状に容易に加工できるようなPCD工具およびその加工法の登場が期待されている。

(2)新PCD素材の開発とその加工法の提案

近年、ポロンドープして導電性を持たせたダイヤモンド粒子を原料とした新しいPCD(EC-PCD)の試作に成功した。試作したEC-PCDと既存PCDを酸化雰囲気炉内で耐熱試験し、比較した結果、EC-PCDの方が耐熱性に優れていることを明らかにしている。現在、原料ダイヤモンド粒子径2, 5, 10, 25 μm のEC-PCDが製造可能である。また、既存PCDでは、コバルト等の助けによってワイヤ放電切断できるが、被導電性であるダイヤモンド部分で放電が阻害され、ワイヤが断線するなど安定した加工ができないのに対し、EC-PCDでは、ダイヤモンド自身が導電性を有するため、容易にワイヤ放電切断ができ、良好な加工面性状が得られることを確認している。

2. 研究の目的

本研究では、優れた工具特性を持ちながら、良好な被加工性を兼ね備えた新しいPCD工具の開発とその加工法の確立を目的として、ポロンドープして導電性を持たせたダイヤモンド粒子を原料とした新PCD(EC-PCD)素材を利用し、放電援用加工および放電複合研削加工によって高能率で高品位なPCDの加工を実現するとともに、難加工材料を加工するための新しいPCD工具を提供するものである。

3. 研究の方法

EC-PCDの構造模式図を図1に示す。まずは、EC-PCDの基本放電加工特性について検討した。形彫り放電加工や回転電極による放電研削加工において、EC-PCDの被加工性を原料ダイヤモンド粒径や各種放電加工条件などを変更して、既存PCDと比較した。また、EC-PCDのワイヤカット放電加工による精密成形の可能性も調査した。上記の結果を受けて、V字形状エッジを有するEC-PCD製円盤工具の高精度成形を試みた。

次に、メタルボンドダイヤモンドホイールを用いたEC-PCDの放電複合研削加工

を行い、放電除去作用と研削除去作用を併用する効果を検証した。

最後に、切削バイト形状に加工したEC-PCD製バイトを用いて、アルミニウム合金の旋削加工実験を行い、既存PCDバイトとの性能を比較した。

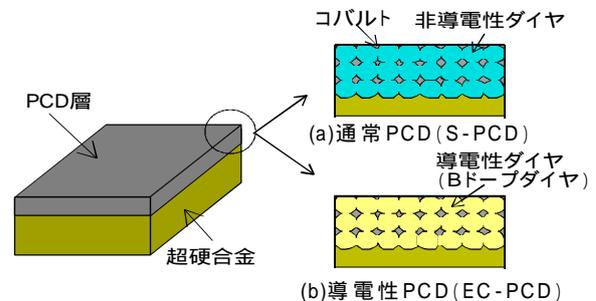


図1 導電性ダイヤモンドを原料とするEC-PCDの構造模式図

4. 研究成果

本研究によって得られた研究成果は以下の通りである。

(1) EC-PCDの形彫り放電加工特性

EC-PCDは、形彫り放電加工において既存のPCDと比較して優れた放電加工能率および被加工面粗さを呈することを示した。さらに、EC-PCDは原料ダイヤモンド粒径(平均粒径10 μm または25 μm)の影響を殆ど受けずに良好な放電除去を行うことができ、幅広い放電加工条件に対応できることを明らかにした。放電加工性の向上効果は、EC-PCDの原料ダイヤモンド粒子自身が導電性であることに起因することを明確にした。

(2) 回転電極による放電研削特性

回転銅電極を用いたEC-PCDの放電研削加工を行うことで、放電屑排出性の向上効果により被加工面粗さの改善効果が得られること、電極消耗率を大幅に低減できることを明らかにした。さらに、EC-PCDディスクを回転電極として、EC-PCDおよび既存PCDの放電研削を行い、EC-PCDは極低消耗電極素材として活用できることを示した。

(3) ワイヤカット放電成形性

ワイヤ放電加工機を用いて、EC-PCDプレートから任意形状の成形を試みた。供試EC-PCDの原料ダイヤモンド粒径は25 μm で、事前に裏打ちされた超硬合金部分を除去した。サンプル形状は、櫛刃形状および渦巻き形状とした。主な放電条件は $u_i=80\text{V}$ 、

$I_p=250A$, $t_e/t_o=0.3/8\mu s$ である。EC-PCDを櫛刃形状に成形した結果を図2に示す。ワイヤが断線することなく円滑に加工が進行した。ワイヤカット加工面も比較的平坦で、原料ダイヤモンド粒子自身を放電除去していることが確認できた。

EC-PCDを渦巻き形状に成形した結果を図3に示す。このようにワイヤ放電加工では、加工抵抗が極めて小さいため、加工時のワーク保持力を必要としない。したがって微細で複雑な形状も容易に成形することが可能であることがわかった。

(4) EC-PCD製ディスク工具の成形

EC-PCDディスクを回転工具として利用できれば、新しい概念の精密研削砥石としての活用が期待できる。そこで、 $\phi 30mm$ のEC-PCD円盤の外周部にV形状の成形を試み、EC-PCD製回転工具の製作を試みた。まず、EC-PCDプレートに対して接触感知によってディスク中心部の位置決めを行い、棒電極で穴あけを行う。その穴をワイヤカット放電加工機にて所望の軸寸法に拡張する。この穴を利用してEC-PCDディスクを軸に取り付け、回転させ、EC-PCDディスク外周部の振れ取り、および超硬合金層の放電除去を行う。最後に、回転電極による放電研削によって、回転させたEC-PCDディスク外周部にV字の形状を放電成形する。EC-PCDは、電極特性を「-」とした時に加工能率が高くなるので、V字成形時には電極極性を「-」とした。

供試EC-PCDディスクの原料ダイヤモンド粒径は $\phi 25\mu m$ とし、V字の頂角を 90° とした。成形後のEC-PCD最外周部頂角のエッジ形状および面性状をSEM観察によって確認した。

製作したEC-PCDのV字工具(円盤)の模式図を図4(a)にエッジ部をCCD観察した写真を図4(b)に示す。EC-PCD円盤の外周全面に渡って、チッピングのない状態であり、均一な放電加工が実現されていることが分かる。EC-PCD円盤のエッジ部をSEM観察した結果を図4(c, d)に示す。シャープなエッジ部を形成しているとともに、斜面部も凹凸が小さな平滑面を呈していることが確認できた。平均粒径 $25\mu m$ の原料ダイヤモンド自身が平滑に放電除去されていることがわかった。また、エッジ先端部のコーナーRは $2.5\mu m$ 以下であり、極めて鋭角な状態を確保できた。通常、精密加工用工具を製作するには、工具自身の製作の困難さから微細な原料ダイヤモンド粒径のPCDを採用することが余儀なくされていたが、本技術の適用により、比較的大きな原料ダイヤモンド粒径で構成される精密加工用工具が実現できると期待できる。

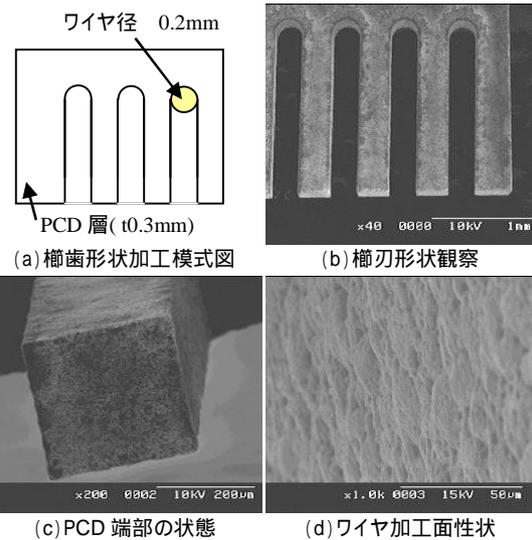


図2 櫛刃形状ワイヤカット加工サンプル (EC-PCD025)

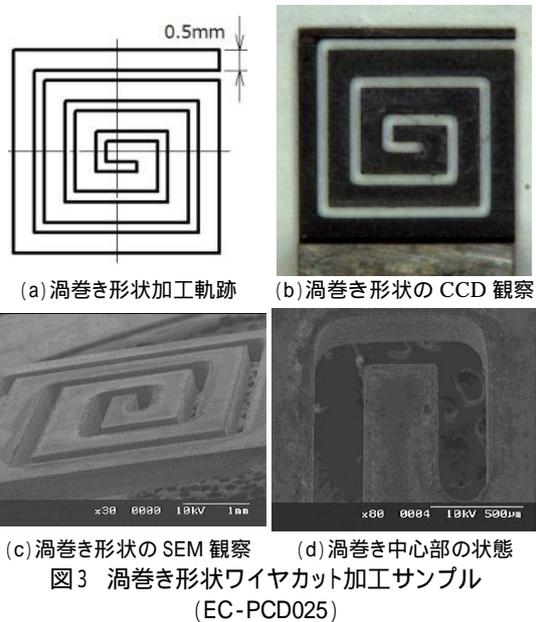


図3 渦巻き形状ワイヤカット加工サンプル (EC-PCD025)

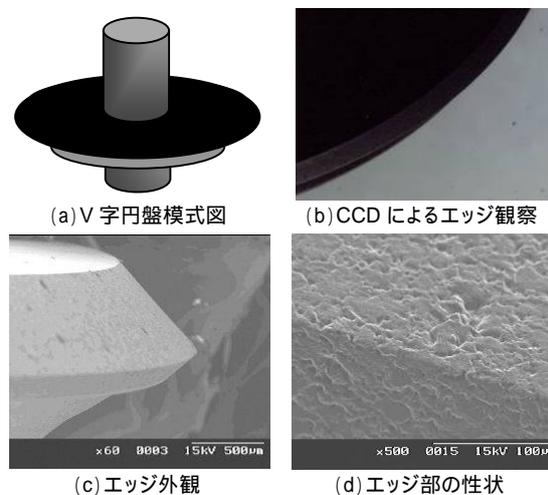


図4 EC-PCDのV字円盤の成形結果

実際に EC - PCD 素材を活用した工具を工具研削盤へ適用したり、難加工材の精密金型加工へ適用したりするなど実用化への期待も大きい。

(5) EC - PCD の放電複合研削特性

放電加工と研削加工の両作用を複合させる放電複合研削は、EC - PCD の安定した研削を持続し、かつ良好な表面性状を得ることが期待できる。図 5 に放電複合研削法の模式図および装置セットアップ写真を示す。放電複合研削法は、研削時に導電性ボンド材と被加工材間にパルス電圧を印加することにより、砥粒による機械的除去作用と放電による電気的除去作用の相乗効果を期待する加工方法である。

平均ダイヤモンド粒径 $10\mu\text{m}$ の既存 PCD (ここでは S - PCD と呼ぶ) および EC - PCD に対し、高精度スライサに SD600 メタルボンドダイヤモンド砥石を装着して平面プランジ加工を行った。砥石への給電は放電電源(SUE-87)を用いて砥石フランジ部にブラシを介して行った。研削条件は砥石周速度 $V_s=40\text{m/s}$ 、送り速度 $V_w=0.2\text{m/min}$ 、切込み $a=1\mu\text{m/pass}$ 、研削幅 $b=2\text{mm}$ 、研削長さ $l=5\text{mm}$ とした。放電条件は設定電圧 $u_i=60\text{V}$ 、パルス $t_e/t_o=4/10\mu\text{s}$ とし、 $i_p=6\text{A}$ とした。加工液には市水($\rho=0.5\times 10^4\Omega\cdot\text{m}$)を使用した。

研削抵抗を比較すると(図 6)、通常研削では両 PCD ともに研削抵抗が急増し加工が困難であった。一方、放電複合研削では S - PCD は研削抵抗が増大したが、EC - PCD は研削抵抗が安定推移しながら 300 パスまで加工できた。極性が砥石[+]のときに比べて、砥石[-]のときの研削抵抗が若干低く推移した。加工面の表面粗さおよび研削比を比較した結果を図 7 に示す。加工後の PCD 表面粗さは、S - PCD が研削抵抗過大のため中断したので参考値となるが、砥石[+]のときに比べて、砥石[-]のときは 2 倍以上の値になった。一方、EC - PCD は砥石極性にそれほど依存しない。S - PCD は非導電性のダイヤモンド粒子で構成されコバルトバインダを介して放電が起きるため、放電除去による凹凸が大きくなる。これに対し、EC - PCD は導電性ダイヤモンド粒子も放電で加工されるため凹凸が小さくなる。また、EC - PCD は極性が砥石[+]に比べ、砥石[-]のときに若干表面性状が良くなった。EC - PCD の研削比は砥石[+]に比べて、砥石[-]のときに加工性能が良くなることわかった。この研削比の絶対値は、通常企業で採用されている既存 PCD の研削加工と同等以上のレベルである。

(6) 切削バイトとしての性能

切削バイトへの適用に先立ち、ピンオンデ

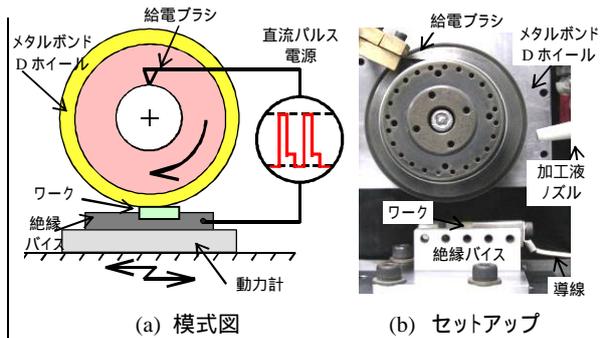


図 5 放電複合研削法模式図と実験セットアップ

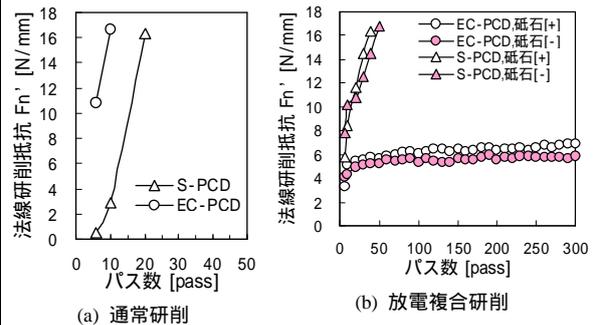


図 6 放電複合研削による研削抵抗の低減効果

($V_s=40\text{m/min}$, $V_w=0.2\text{m/min}$, $a=1\mu\text{m}$, $u_i=60\text{V}$, $i_p=6\text{A}$, $t_e/t_o=4/10\mu\text{s}$)

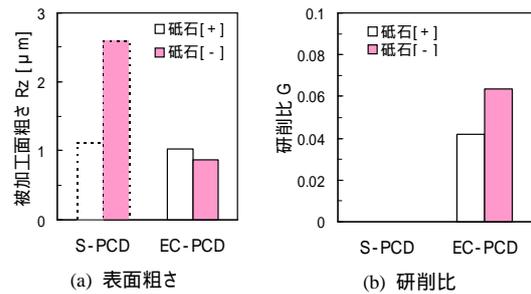


図 7 放電複合研削後の表面粗さと研削比

($V_s=40\text{m/min}$, $V_w=0.2\text{m/min}$, $a=1\mu\text{m}$, $u_i=60\text{V}$, $i_p=6\text{A}$, $t_e/t_o=4/10\mu\text{s}$)

イスク方式による摺動摩擦試験を行ったところ、常温では EC - PCD は既存 PCD に比べて摩擦係数が大きな値を示すが、高温(80 プレヒート)では、その値が逆転することがわかった。これは、高温下で作用する切削工具としては有利な特徴である。

切削バイト形状に成形し、研磨した切削バイトにてアルミニウム合金を旋削加工したところ、本実験の範囲内では、逃げ面摩耗や加工面粗さなど、両者の旋削加工特性に対する顕著な差は見られなかった。すなわち、EC - PCD 切削工具は、既存 PCD と同等以上の工具特性を有し、かつ、被成形性も良いことが確認された。

(7) 切削バイトへの放電微細溝加工

新たな工具形状を探索するため、EC - P

CD製切削バイトのすくい面に薄肉銅電極を用いて微細溝加工を付加した。電極形状および加工手順を工夫することで、工具すくい面にさまざまなテクスチャを施すことが可能になった。また、複雑なチップブレイカ形状なども付加する可能性を見出した。

本研究によって、EC-PCD素材の電気援用加工および放電複合研削加工特性が明らかになり、本素材を活用した切削・研削工具、金型、電極および精密部品として活用するための指針が得られた。

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)

M. Iwai, S. Ninomiya, K. Suzuki, Effect of Complex Electrodischarge Grinding for Electrically Conductive PCD、Advanced Materials Research、査読有、Vol.325、2011、pp.276-281、DOI : 10.4028/www.scientific.net/AMR.325.276

S. Ninomiya, M. Iwai, G. Sugino, T. Takada, K. Suzuki, EDM properties of EC-PCD using a copper electrode、Advanced Materials Research、査読有、Vol.126- 128、2010、pp.521-526、DOI : 10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.521

M. Iwai, S. Ninomiya, G. Sugino, K. Suzuki, Complex Grinding Assisted with Electrical Discharge Machining for Electrically Conductive PCD、Advanced Materials Research、査読有、Vol.126- 128、2010、pp.591-596、DOI : 10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.591

[学会発表](計6件)

S. Ninomiya, M. Iwai, T. Takada, Z. Zhou, K. Suzuki, EDM Properties of EC-PCD Manufactured using Electrically Conductive Diamond Particles、Proceedings of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN)、2011.11.17、Langham Place Hong Kong Hotel (中国 香港)

高田拓哉、周志容、二ノ宮進一、岩井学、鈴木清、導電性PCD(EC-PCD)の形彫り放電加工特性、第2報:各種放電加工条件の影響、2011年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、2011.9.7、中部大学(愛知)

M. Iwai, S. Ninomiya, K. Suzuki, Material Property of Newly Developed PCD Made up of Electrically Conductive Diamond Particles、Proceedings of Intertech2011、2011.5.4、Hyatt Regency O'Hare (米国 シカゴ)

M. Iwai, S. Ninomiya, K. Suzuki, Effect of Complex Grinding Assisted with EDM for Electrically Conductive PCD、Proceedings of Intertech2011、2011.5.3、Hyatt Regency O'Hare (米国 シカゴ)

二ノ宮進一、杉野岳、関隆祐、岩井学、鈴木清、導電性ダイヤモンドを原料とするPCD(EC-PCD)の放電研削加工、電気加工学会全国大会、2010.11.26、アクトシティ浜松(静岡県)

二ノ宮進一、高田拓哉、高野和義、増山史剛、杉野岳、岩井学、鈴木清、導電性PCD(EC-PCD)の放電研削特性、砥粒加工学会学術講演会、2010.8.27、岡山大学(岡山県)

6. 研究組織

(1)研究代表者

二ノ宮 進一 (NINOMIYA SHINICHI)

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80453950