

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560140

研究課題名(和文) 導電性ダイヤモンド工具の電解仕上げ加工

研究課題名(英文) Surface finishing of electrically conductive diamond tool by electrochemical machining

研究代表者

岩井 学 (Iwai, Manabu)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：30363873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：自動車や航空機に用いられる高Siアルミニウム合金の加工に用いられるCVDダイヤモンド被覆工具の表面粗さは $1\mu\text{m}$ 程度であるが、切削性能を向上させるためにはより平滑な表面を得ることが望まれている。本研究では、エンドミルやドリルなどの複雑形状を有するダイヤモンド被覆工具等の表面性状を向上させるための方策として、導電性ダイヤモンド膜を電解仕上げする方法を提案した。導電性CVDダイヤ膜およびダイヤ焼結体に対し電解条件と加工性能の関係を調べた結果、 $Rz=2\sim 3\mu\text{m}$ の凹凸のダイヤモンド表面が $Rz=0.1\mu\text{m}$ 以下の平滑面に加工できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study deals with a new surface finishing method of electrically conductive diamond materials. This method has two advantageous features of the electrolytic machining in addition to the general view that a better surface roughness could be obtained. One of those features is that no higher heat is generated at the machining point. This can eliminate a risk of the film delamination in the case where a workpiece is the CVD diamond coated tool. The other is that a wider machining gap is available between an electrode and a workpiece. This was thought to allow the electrolytic machining to be applied to a tool with a complex shape such as a drill and an endmill. From the results of electrolytic machining for the electrically conductive diamond materials, it was found that the surface of the electrically conductive diamond could be smoothed enough by electrolytic machining though relatively long period of time was required.

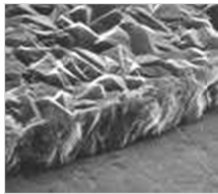
研究分野：工学

キーワード：電解加工 ダイヤモンド工具 導電性ダイヤモンド CVDダイヤモンド膜 PCD 表面粗さ

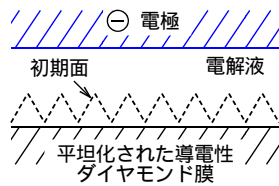
1. 研究開始当初の背景

(1) CVD ダイヤモンド膜の表面仕上げの問題点

高 Si アルミニウム合金などの量産加工には CVD ダイヤモンド膜を被覆した切削工具が使用されている。当該工具のダイヤモンド膜表面が被加工材との溶着や剥離を抑制するため、ダイヤモンドの結晶粒を微細化し表面凹凸(図1)を小さくする方法が採用されてきた。現在市販されている当該工具の表面粗さは1 μm 程度であるが、より平滑なダイヤモンド被覆膜表面を得ることが望まれていた。



(a) CVD ダイヤ膜の表面性状



(b) 電解加工による表面凹凸の推定除去機構

図1 導電性 CVD ダイヤモンド膜の表面凹凸の電解加工による推定除去機構

ダイヤモンド表面の粗さを向上させる方法としては、ダイヤモンド砥粒による研磨加工の他、特殊な金属材料との摺動摩擦に伴う化学反応を利用する方法などが提案されているが、ドリルやエンドミルなどの複雑形状部に適用することは容易ではない。申請者らはダイヤモンドにボロンをドーピングした導電性ダイヤ膜を開発し、放電加工による加工法を確立したが、放電加工点が高温になるためダイヤモンド膜が母地から剥離する問題があった。そこで、加工点が高温にならない電解加工法に着目し、導電性ダイヤモンド被覆膜の表面仕上げ(図1(b))に適用することを試みた。この方法は許容加工間隙が広いので、切れ刃角部や溝等の複雑形状への適用も容易になると考えた。

表1 各種ダイヤ工具に対する表面性状向上策

供試ダイヤ類	ダイヤモンド工具の表面性状改善策		
	ダイヤ結晶制御法	既存仕上げ法	曲面仕上げ法
CVDダイヤ膜	結晶粒微細化	ラッピング, 熱化学反応研磨	
導電性CVD膜	結晶粒微細化	ラッピング, 熱化学反応研磨	電解仕上げ
PCD	原料D粒子微細化	ラッピング, 熱化学反応研磨	
導電性PCD	導電性D粒子原料の微細化	ラッピング, 熱化学反応研磨	電解仕上げ

2. 研究の目的

本研究では、複雑形状を有するダイヤモンド被覆工具等の表面性状を向上させるための方策として、導電性ダイヤモンド膜を電解仕上げする方法を提案し、その加工条件の把握と加工機構の解明を図るとともに、電解仕上げ加工法として確立することを目的とした。

電解加工では図1(b)のように、表面の凸部が選択的に除去されるため、導電性 CVD ダイヤモンド膜の場合も表面の凸部を平滑化できると推察される。電解加工による導電性ダイヤモンド素材の表面仕上げに期待される利点を以下に示す。

- (a) 放電仕上げと異なり高熱を発生しないため、電解仕上げ時に導電性ダイヤモンド被覆層が剥離することがない。
- (b) 放電加工では加工間隙を数 μm 以内に制御する必要があるが、電解加工では加工間隙の許容範囲が広い。
- (c) 上記より複雑形状を有する導電性ダイヤモンド被覆工具に対しても、総形電極、または NC 送り電極を採用することで、逃げ面、すくい面、等の電解仕上げが可能になると推察できる。
- (d) 導電性ダイヤモンド膜表面をマスクングすることで、複雑形状のマイクロ部品が製作できる。
- (e) ダイヤモンド自体に電気が通るため、電解加工および電解仕上げされたダイヤモンド工具は接触感知や通電加熱などを行うことができる。

3. 研究の方法

(1) 供試導電性ダイヤモンド試料

供試導電性ダイヤモンド試料として、導電性 CVD ダイヤモンド厚膜(φ20mm×0.5mm, CVDITE-CDE, Element Six), および導電性ダイヤモンド粒子を原料とする導電性 PCD を用いた。比抵抗は、導電性 CVD ダイヤモンド厚膜が $0.4 \sim 1 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$ 、導電性 PCD が $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$ である(表1)。

表1 導電性ダイヤモンド素材の特性

	導電性 CVD ダイヤ厚膜	導電性 PCD
比抵抗 [$\Omega \cdot m$]	$0.4 \sim 1 \times 10^{-3}$	$\sim 10^{-4}$
比重	3.52	4.0
熱伝導率 [$W/(m \cdot K)$]	500~600	100
熱膨張係数 [$1/K$]	1.0×10^{-6}	-
熱拡散率 [m^2/s]	$0.27 \sim 0.33 \times 10^{-3}$	-

(2) 電解実験装置および条件

実験状況を図2に示す。電解槽層の下部に導電性ダイヤモンド試料を設置し、銅パイプ電極(外径 2mm, 内径 1mm)と間隙 $Cl=0.5mm$ に対峙させた。銅パイプ電極から電解液(硝酸ナトリウム水溶液 20wt%, 導電率 18S/m)を流

量 0.35 l/min で噴射させた。実験装置および条件を表2に示す。加工条件の把握や除去機構の推定を行い、加工能率を向上させるための方策を調べた。

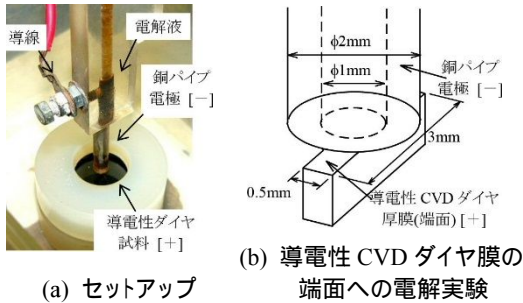


図2 電解実験セットアップと模式図

表2 実験装置および条件

導電性ダイヤモンド試料	・導電性 CVD ダイヤモンド膜 (CVDITE-CDE, Element Six) φ20×t0.5mm, 3mm×6mm×t0.5mm ・導電性 PCD (原料ダイヤモンド粒径 10μm, 25μm) φ30mm, ダイヤ層 0.5mm, 超硬層 1.5mm
電解電源	直流電源装置 (ZX-400L, 高砂製作所)
電極	銅パイプ (外径 2mm, 内径 1mm)
電解液	NaNO ₃ 水溶液 (20wt%, σ=18 S/m) 噴流 (q=0.35 l/min)
電解条件	極性: 導電性ダイヤモンド試料 [+], 電極 [-] 間隙: Cl=0.5mm

4. 研究成果

4.1 導電性 CVD ダイヤモンド厚膜における電解加工性能の把握

図示しないが、ポリッシュ仕上げされた面 ($R_z=0.1\mu\text{m}$) を長時間電解しても SEM による観察では変化は認められなかった。

図2(b)のように、導電性 CVD ダイヤモンド厚膜の端面 (レーザー切断にて切り出した面, $R_z=2.3\mu\text{m}$) に対し, $u_i=20\text{V}$ の定電圧で 15 時間電解を行った場合は、ダイヤ表面の微細な凹凸が電解によって加工されているのが見られた(図3)。

次に、より粗い面に対する効果を期待して放電加工後の表面に電解を行った。その結果、放電により創成された粗面が平坦化されていた(図4)。

4.2 導電性 PCD における電解加工性能の把握

導電性 CVD ダイヤモンド膜への電解仕上げが可能であったことより、導電性を有するダイヤモンド粒子を原料とする導電性 PCD(原料ダイヤモンド粒子径 10μm, 25μm) への電解を試みた。

図5(a)は導電性 PCD の研削仕上げ面、図5(b)は電解加工した結果である。導電性 PCD のコバルトバインダ部が選択的に除去されることなく、表面凹凸が平滑化された。また、

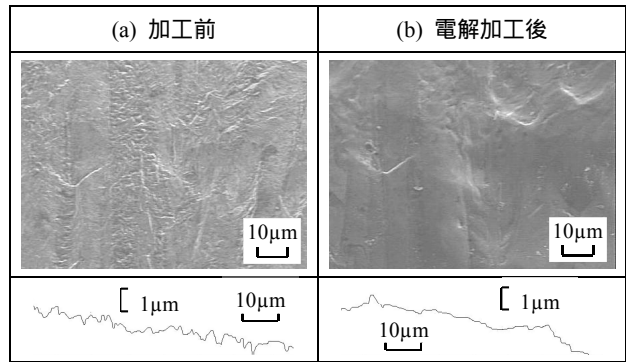


図3 導電性 CVD ダイヤモンド厚膜の端面の電解結果 (定電圧 20V, 実効電流 1A, 加工時間 15h)

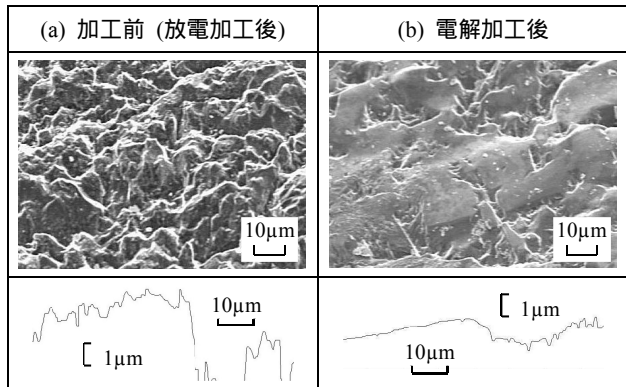


図4 導電性 CVD ダイヤ厚膜の結晶成長面の電解結果の電解結果 (定電流 5A, 実効電圧 12V, 加工時間 2h)

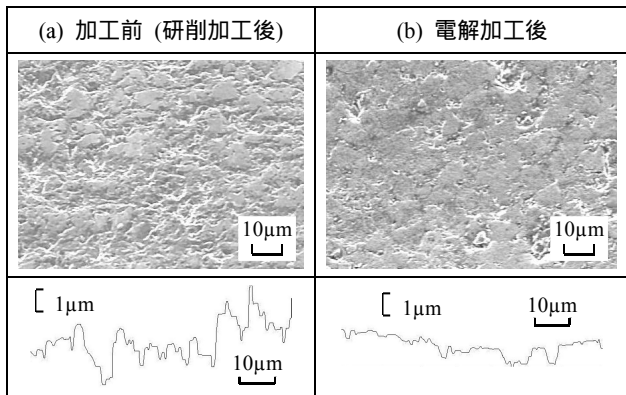


図5 研削加工後の導電性 PCD の電解結果 (原料ダイヤモンド粒径 10μm, 定電流 5A, 実効電圧 9V, 加工時間 2h)

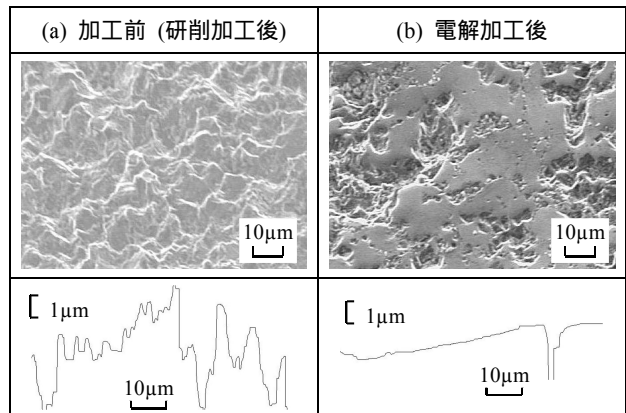


図6 研削加工後の導電性 PCD の電解結果 (原料ダイヤモンド粒径 25μm, 定電流 5A, 実効電圧 10V, 加工時間 1h)

放電加工を行った面も同様に電解加工できた(図6)。

4.3 電解加工能率向上策の検討

電解加工能率の向上させるため、電解条件、電解液濃度、電解液の供給条件、超音波振動の援用法などを検討した。図7は電解液を高圧を供給しながら電解電流および電解液濃度お高くしたときの結果である。CVDダイヤモンド結晶積層裏面(未研磨面)に対して、設定電流、加工液濃度を变化させて電解加工を行った。設定電流を15A、電解液濃度を30wt%にすると、加工前に $Rz=2\mu\text{m}$ の表面凹凸は $Rz=1\mu\text{m}$ 以下に改善されていた。以上のことより、電解加工能率を向上させるためには、設定電流を高くし、加工液濃度を濃くすることが有効であるとわかった。

(5) 研究成果のまとめ

本研究で提案した導電性を有するダイヤモンド素材の電解仕上げ法は、長時間を要するものの電解仕上げできることを確かめた。電解条件の最適化、超音波援用のよる不導体膜発生の防止などによって電解加工能率を高めることができることを明らかにしたので、切削工具に対応した複雑形状を有する表面や切れ刃部分に電解加工を適用していく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

M.Iwai, K.Suzuki: Surface Finishing of Electrically Conductive Diamond tools by Electrolytic Machining, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.565, 2012, 400-405, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.565.400.

M.Iwai, Z.Zhou, T.Ueda, S.Ninomiya, K.Suzuki: Performance of Ultrasonic Electro-discharge Machining on Electrically Conductive PCD, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.628, 2013, 101-106, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.628.101.

M.Iwai, S.Ninomiya, Z.Zhou, K.Suzuki: Effect of Ultrasonic EDM on Machinability of Coarse PCD, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.797, 2013, 362-367.

W.Chen, M.Iwai, S.Ninomiya, K.Suzuki: Material Properties of a New PCD Made of Boron Doped Diamond Particles, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.1017, 2014, pp.154-159, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1017.154.

W.Chen, M.Iwai, K.Suzuki: EDM Machinabilities of EC-PCD using

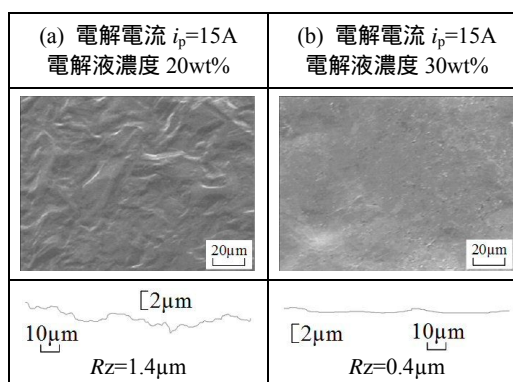


図7 電解電流および電解液濃度を变化させたときの加工能率の向上効果 (加工時間30min)

Ultrasonic Assisted EDM and Bipolar Pulse Current EDM, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.1017, 2014, 782-787, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1017.782.

[学会発表](計4件)

岩井学, 関洋子, 鈴木清: 導電性ダイヤモンドの電解仕上げの試み, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2012年.

岩井学, 周志容, 二ノ宮進一, 鈴木清: PCDの放電加工における超音波振動付加電極の効果, 電気加工学会全国大会, 2012年.

M.Iwai, S.Ninomiya, K.Suzuki: EDM properties of newly developed PCD made up of electrically conductive diamond particles, The Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), 2013年.

M.Iwai, S.Ninomiya, K.Suzuki: Improvement of EDM properties of PCD with electrode vibrated by ultrasonic transducer, The Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), 2013年.

6. 研究組織

(1) 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・准教授

研究者番号: 3036387