



M. Iwai

水ガイドレーザによる ダイヤモンド金型部品の精密加工

岩井 学*

1. はじめに

耐久性の向上を目的に金型部品や切削工具へのダイヤモンド素材の適用が多く行われている。化学気相成長 (CVD) 法によって超硬合金や工具・金型鋼の表面にダイヤモンド被覆を行う用途は多く、CVD 法は複雑な工具や金型形状に対応し易い特徴を持っている。現在、市販されている CVD ダイヤモンド被覆工具の表面粗さは最高品質のもので $Rz=1\sim 2\mu\text{m}$ ¹⁾ と言われているが、加工品位を向上させるにはダイヤモンド被覆の表面粗さをより向上させる必要がある。また、ダイヤモンド焼結体 (PCD) も硬度、化学的安定性に優れており、切削工具の他、プレス金型部品として摩耗が激しい部位への組み込みや耐摩耗材として用いられている。PCD への形状創成加工は放電加工によって行われるが、複雑で曲面を有する箇所仕上げ加工には課題が残されている。

CVD ダイヤモンド表面の表面粗さを向上させる方策としては、1) ダイヤモンドの成長条件制御による結晶粒塊微細化、2) 微粒ダイヤモンド砥石による研削、3) ダイヤモンド砥粒によるラッピング、4) 特殊金属材料などとの熱化学反応法、5) 高調波 YAG レーザ照射法、6) ピコ秒レーザ照射による蒸発法などが提案されているが、装置価格、加工コスト、加工時間、特に複雑形状への対応が困難であるなどの問題があり、1) の結晶粒微細化法以外はどれも実験段階に留まっているのが現状である。

既存 YAG レーザによる CVD ダイヤモンド膜の表面粗さ向上に関する研究としては、吉川、戸倉ら²⁾ や安永、鈴木ら³⁾ はダイヤモンド膜表面とほぼ平行 (照射角 $\theta=80\sim 89^\circ$) にレーザを照射する場合のみ CVD ダイヤモンド成長面上の突起部を選択的に除去し、表面性状を向上できることが報告されている。しかし、ダイヤモンド膜表面に対しほぼ平行にレーザを照射する方法では複雑形状を有するドリルやエンドミルへの適用は容易ではない。

著者らは数 $10\sim 100\mu\text{m}$ の微細ノズルから高压 (10MPa-) で噴射される細い水柱の内部にレーザを閉じ込めて加工点まで導く水ガイドレーザ⁴⁾ (図 1) をダイヤモンド類の微細加工に応用する研究⁵⁾ を行ってきた。水ガイドレーザはノズル先端部からの距離が数 10mm の範囲においてビーム径およびエネルギー密度が変わらないため、凹凸のある立体形状に対しても加工できること、レーザ照射

点近傍を常に高压水で冷却しているため照射面の熱変質がきわめて少ない特徴も併せ持っている。また、水ガイドレーザに使用されているレーザ波長帯域 ($\lambda=532\text{nm}$) はダイヤモンドの除去に適していると言われている³⁾。

本研究では、数 10mm に及び同一のビーム形状やエネルギー密度を持ち、照射面に発生する熱を瞬間的に除去できる特徴を有する水ガイドレーザを用いて CVD ダイヤモンド膜の結晶凸部のみを図 1 のように選択的に除去し、結果として面性状を向上させることを目的としている。本報告では CVD ダイヤモンド厚膜の結晶成長面および PCD 表面の加工状況を調べた。

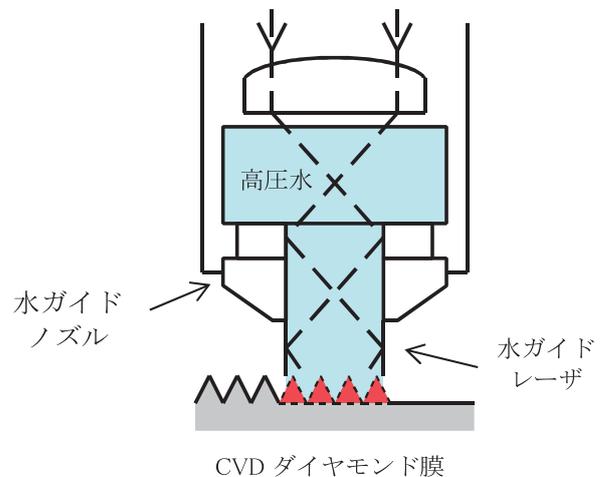


図 1 水ガイドレーザによるダイヤモンド膜凹凸の推定除去機構

2. 実験方法

実験装置および条件を表 1 に示す。CVD ダイヤモンド厚膜の結晶成長面 (初期粗さ $Rz=60\mu\text{m}$) および PCD 表面への水ガイドレーザの照射実験は図 2 のように行った。水ガイドレーザ径 $100\mu\text{m}$ 、加工点と水ガイドレーザ照射口の間隔 $Cl=20\text{mm}$ 、レーザ出力 (実効値) $Pe=30\text{W}$ 、周波数 15kHz 、パルスオン時間 100ns とした。走査速度は $F=10\text{m/min}$ である。

*富山県立大学工学部 准教授

表1 実験装置および条件

加工機	水ガイドレーザー機 (Waterbeam Machine, スギノマシン) LD 励起レーザー, $\lambda=532\text{nm}$ (2倍波)
ダイヤモンド試料	・CVD ダイヤモンド厚膜 (5×8×t0.5mm) (CVDITE-CDM, 未研磨, エレメントシックス) ・ダイヤモンド焼結体 (PCD, 5×8×t0.5mm) (原料ダイヤ径: 10 μm , 25 μm , エレメントシックス)
レーザー条件	レーザー出力(実効値): $P_e=30\text{W}$ 水ガイドレーザー径: $\phi 100\mu\text{m}$, 周波数: 15kHz パルス幅: オン時間 100ns, オフ時間 66 μs
照射条件	照射角: $\theta=0, 70^\circ$, 走査速度: $F=10\text{m/min}$ 間隔: $Cl=20\text{mm}$, オーバーラップ: 50 μm

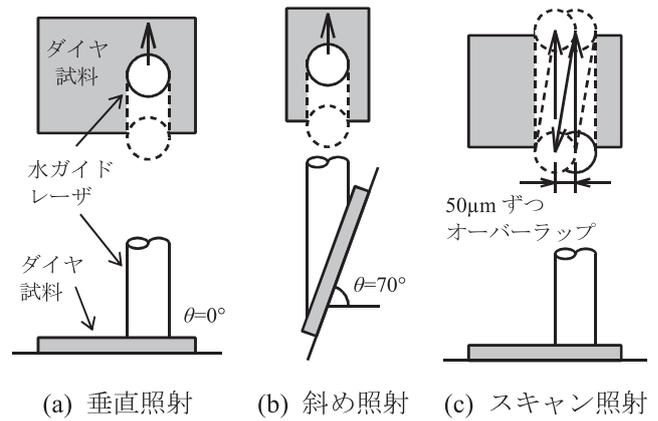
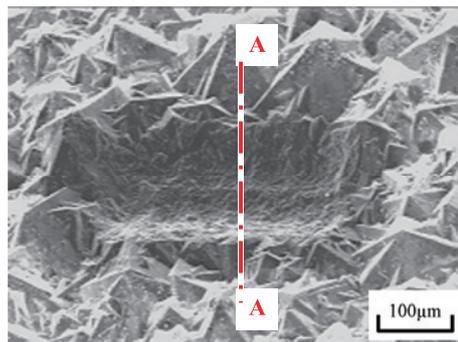
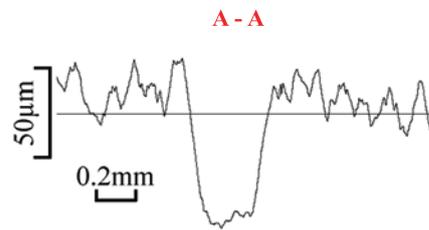


図2 水ガイドレーザー照射模式図



(a) 加工領域



(b) 加工領域の加工深さ (A-A 断面)

図3 YAG レーザによる加工表面

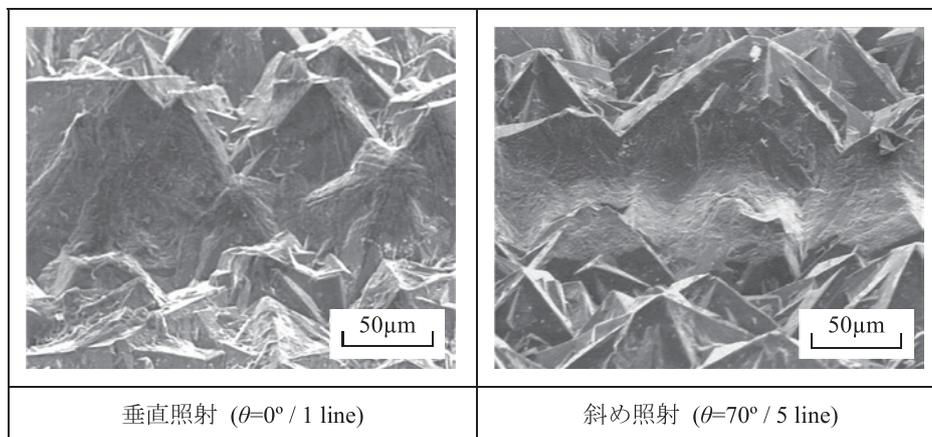


図4 CVD ダイヤモンド厚膜結晶面へのレーザー照射角度と加工性能の関係 ($P_e=30\text{W}$)

3. 各種ダイヤモンド試料への照射結果

3.1 CVD ダイヤモンド厚膜の表面加工

(1) 既存 YAG レーザによる加工性能

比較のため既存 YAG レーザ機 (ML-2350AF, ミチテクノス) にて照射を行った. スポット径 $\phi 0.2\text{mm}$ に対し 50 μm ずつオーバーラップさせながら 4 ピッチ分スキャン照射した (図3). 大気中で, かつレーザー条件 ($P_e=1\text{kW}$, $t_e=1\text{ms}$) が異なるが, CVD ダイヤモンド表面に加工跡が深く入り, 周囲が黒く焦げていた.

このことから, ダイヤモンド結晶凸部の平滑化には適

さないとされる.

(2) 照射角と加工性能の関係

レーザー出力 $P_e=30\text{W}$ で水ガイドレーザーを垂直方向 ($\theta=0^\circ$) および斜め方向 ($\theta=70^\circ$) から照射し, $F=10\text{m/min}$ で走査した結果を図4に示す. 垂直照射 ($\theta=0^\circ$) では1パスの走査でダイヤモンド結晶凸部が除去されていた. 斜め照射 ($\theta=70^\circ$) では加工能率の低いため5パス走査した結果, 広い溝幅でダイヤモンド結晶凸部が除去されていた.

(3) スキャン照射回数と加工性能

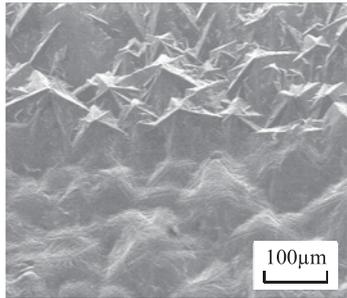
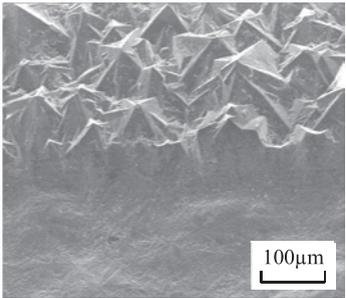
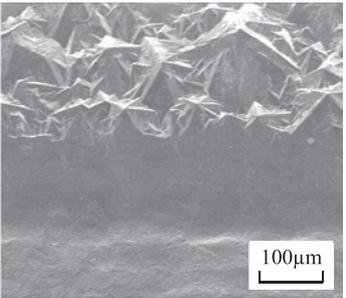
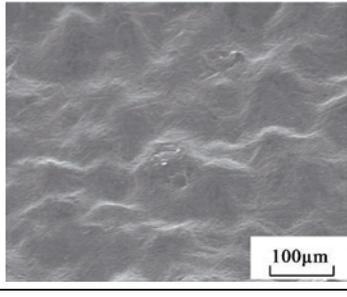
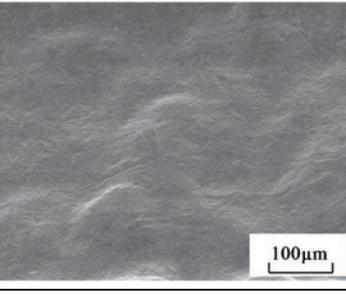
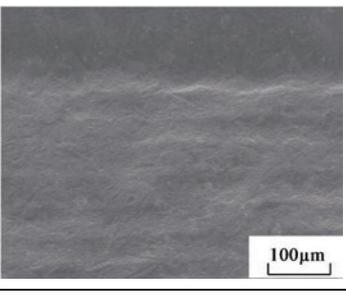
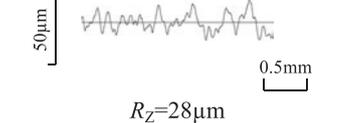
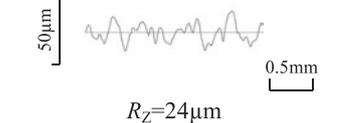
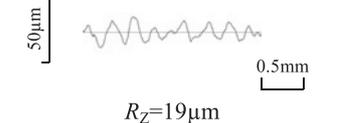
	スキャン照射 2回	スキャン照射 5回	スキャン照射 10回
未加工部の境界			
加工領域			
粗さ曲線			

図5 CVDダイヤモンド厚膜結晶面の平滑加工

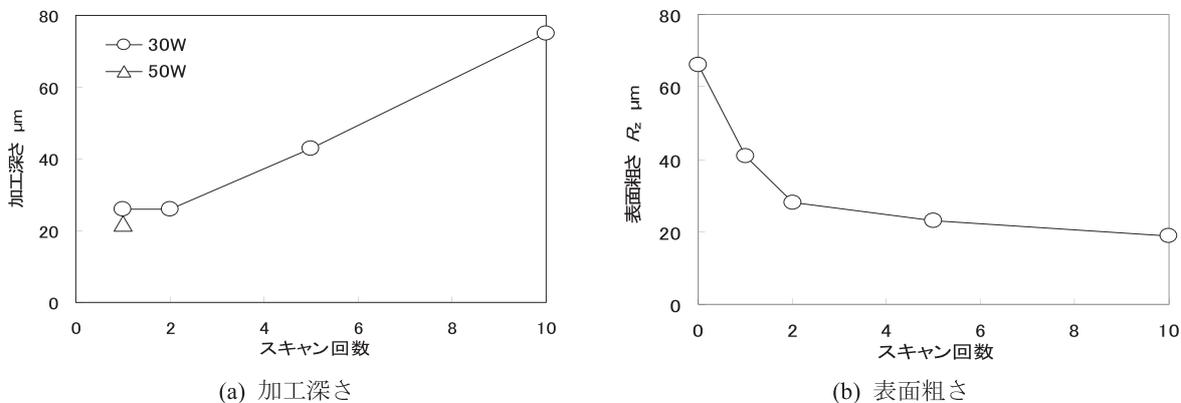


図6 スキャン照射における加工深さと表面粗さの変化

図2(c)のようにレーザ径φ100µmに対し50µmずつオーバーラップさせながら10パス走査するスキャン照射の施行回数と加工性能の関係を調べた(図5)。スキャン照射回数が増えると加工深さは増大し、スキャン照射10回後では70µmの深さに達した(図6(a))。表面粗さは初期面粗さR_z=60µmに対し、スキャン照射10回後ではSEM観察結果からもダイヤモンド結晶凸部が滑らかになっているのが分かり、R_z=19µmに改善された(図6(b))。

3.2 PCDの表面加工

放電加工により表面を荒らしたPCDに対し、水ガイドレーザをスキャン照射した結果を図7に示す。初期表面粗さR_z=25µmに対しスキャン照射を10回行うと、原料ダイヤモンド径10µmのPCDではR_z=4.6µm、粗粒ダイヤモンド25µmのPCDではR_z=11µmにそれぞれ改善された。

4. おわりに

水ガイドレーザによるダイヤモンド金型部品の精密加工を実現するため、CVDダイヤモンド膜およびPCDの加工性能を調べた。

(1) CVDダイヤモンド膜の結晶成長面に垂直照射した

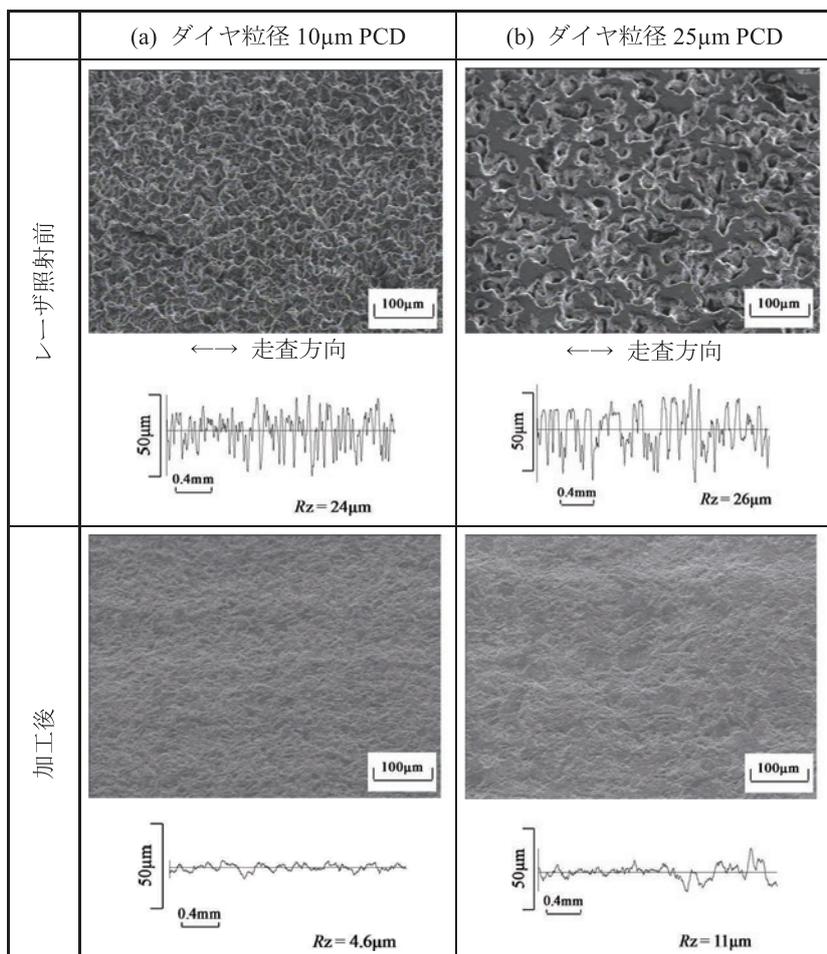


図7 PCD へのスキャン照射(10回)後の表面性状

結果、結晶成長面凸部が除去され表面を平滑化できることが分かった。また、CVD ダイヤモンド膜に対し、斜め方向から照射すれば一度に広い面積を平滑にできた。(2) PCD 表面も原料ダイヤモンド粒径に寄らず平滑化できた。

今後、PCD 金型に適用するため、加工量を制御し、表面粗さを良くするための加工条件の最適化を実験的、かつ理論的に行う必要がある。また、摩耗評価を行う予定である。

謝 辞

本研究を行うに当たり、貴財団より助成していただきましたことに対して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 羽生博之他：超微結晶ダイヤモンドコーティング工具による MMC 加工，日本機械学会 2001 年度年次大会講演論文集（Ⅲ）p.287.
- 2) 手塚，吉川：YAG レーザ照射によるダイヤモンド粒の切断，精密工学会誌，55，10 (1989) 1863.
- 3) 安永，鈴木他：Nd:YAG レーザ第 5 高調波照射による CVD ダイヤモンド膜の表面性状改善，2007 年度精密工学会春季大会講演論文集 (2007) 767.
- 4) ㈱スギノマシン：製品カタログ「ウォータービームマシン」.
- 5) 岩井，二ノ宮，鈴木他：ウォータービーム（水ガイドレーザ）による超砥粒砥石の精密成形の試み，電気加工学会全国大会 (2010) 講演論文集 (2010) 41.