

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04207

研究課題名(和文) 高速UVアシスト固定砥粒研磨によるダイヤモンドの超高効率鏡面研磨

研究課題名(英文) High efficiency mirror like surface finishing of diamond by UV-assisted fix abrasive polishing

研究代表者

山口 桂司 (Yamaguchi, Keishi)

京都工芸繊維大学・機械工学系・准教授

研究者番号：00609282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：ダイヤモンドの高能率鏡面加工法として高速UVアシスト固定砥粒研磨法を提案した。本手法は、メカノケミカル作用を有する複合砥粒砥石を使用した高速固定砥粒研磨法に、紫外光(UV)照射による光化学反応を重ねた新たな研磨手法である。砥石周速度90m/sまで高速化させることで、化学気相成長(CVD)ダイヤモンドおよび焼結多結晶ダイヤモンド(PCD)ともに加工能率が改善することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ダイヤモンドは、現存する物質中でもっとも硬い物質であることに加え、無潤滑の条件においても摩擦係数の非常に低い材料である。一方、その硬度と高い化学的安定性のため加工は極めて困難な材料である。ダイヤモンドを摺動部等の機械部品として使用するには、高能率な鏡面仕上げ加工の確立が急務となる。これに対して本研究では、メカノケミカル作用を有する複合砥粒砥石において、90m/sの高速領域での使用を実現し、表面粗さと加工能率とを両立して改善可能であることを明らかにした。これによってダイヤモンドに対する超高効率かつ高品位な鏡面加工の実現可能性を見出したといえる。

研究成果の概要(英文)：High-speed UV-assisted fixed-abrasive polishing was proposed as a high-efficiency mirror like surface finishing for diamond. This method superimposes a photochemical reaction by ultraviolet-ray irradiation on high-speed fixed-abrasive polishing method using a mechanochemical abrasive wheel. It was clarified that the removal rate of both chemical vapor deposition (CVD) diamond and sintered polycrystalline diamond (PCD) was improved by increasing the grinding wheel peripheral speed to 90m/s.

研究分野：生産工学・加工学

キーワード：diamond fixed-abrasive polishing high speed polishing

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは、現存する物質中でもっとも硬い物質であることに加え、無潤滑の条件においても摩擦係数の非常に低い材料であることが知られている。焼結多結晶ダイヤモンド(PCD)や化学気相蒸着ダイヤモンド(CVDダイヤモンド)などの製造技術の発展により、比較的大きな工業用ダイヤモンドの製造が可能になった。

一方、ダイヤモンドを摺動部品や耐摩耗部品に適用するためには、ダイヤモンドの表面を鏡面に仕上げることが必要である。しかしながら、ダイヤモンドは、非常に高い硬度を有していることに加えて化学的にも安定であることから、加工が極めて困難な材料でもある。とくに部品として使用することを考慮すると、加工に要する時間は部品製作に係るコストに直結するため、加工時間の短縮が非常に大きな課題となっている。実際、ダイヤモンドを工具以外の部品として使用された例は極めて限定的である。

もう一つの大きな課題が、複雑な形状のダイヤモンドの研磨加工である。一般的な研磨加工では、ほとんどが平面を対象とした加工法である。部品として使用するためには、さまざまな形状、場合によっては複雑な形状のダイヤモンドを研磨する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、メカノケミカル作用を発現するとされる SiO_2 砥粒を含む複合砥粒砥石を使用した固定砥粒研磨を100 m/sまで高速化する高速固定砥粒研磨に紫外光(UV)照射を重畳する高速UVアシスト固定砥粒研磨を提案した。砥石の高速化による加工能率の大幅な向上に加え、UV照射による光化学反応の効果によって表面粗さの改善を図る。また、申請者らの研究グループで開発中の縦型マシニングセンターベースの超多機能多工程集約複合加工機(Super Processing Center: SPC)を使用することで複雑な形状への対応を検討した。ここでは、以下に挙げる2つを目的に研究を実施した。

(1) 高速UVアシスト固定砥粒研磨用に製作した砥石のツルーイング特性を明らかにする。とくに、ツルーイング砥石の配置およびツルーイングリードと周速度比との関係を明らかにする。

(2) 砥石周速度を20 m/sから段階的に上昇し、最終的には100 m/sの高速研磨を実現する。高速固定砥粒研磨において砥石高速化が表面粗さや加工能率、工作物表面の硬さなどに与える影響を明らかにする。

(3) 曲面の第一段階として円筒面の超高能率鏡面研磨法としてHigh Speed Turn Grinding法を実現するため、Turn Polishingユニットを開発する。このユニットを用いた基礎実験によって、Turn Polishing法の基礎的な加工特性を明らかにする。

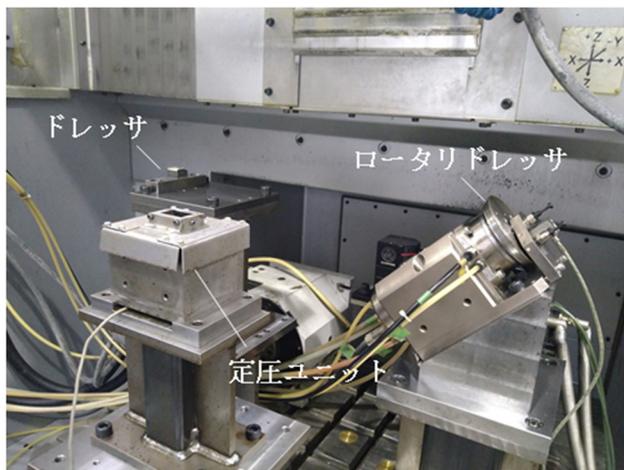
3. 研究の方法

(1) 高速固定砥粒研磨用砥石のツルーイング特性

砥石周速度を高速化するため、申請者らが開発中の超多機能多工程集約複合加工機(Super Processing Center: SPC)を使用した。この装置は縦型マシニングセンターがベースの微細加工機であり、一台でさまざまな加工を実現可能である。図1に示すように主軸に砥石を装着し、テーブル上に設置した定圧ユニットを介して工作物を把持した。ツルーイングはダイヤモンドロータリドレッサを用い、表1に記載の条件で実験を実施した。ツルーイング後はホワイトストーン(WA400)を用いてドレッシング施した。ツルーイング実施後にPCDの高速固定砥粒研磨を実施し、PCDの表面粗さおよび加工能率を比較することで、ツルーイングの影響を明らかにした。



(a) SPC 外観写真



(b) SPC 加工室内の配置

図1 実験装置

表1 ツルーイング特性に関する実験条件

砥石周速度	[m/s]	25.0, 30.0, 37.5, 75.0
ツルア周速度	[m/s]	30
周速度比		1.2, 1.0, 0.8, 0.4
切込み量	[μm]	2
総切込み量	[μm]	50
ツルーイングリード	[$\mu\text{m}/\text{rev}$]	10
クーラント流量	[L/min]	3

本実験における高速固定砥粒研磨は、砥石周速度 90m/s, 加工圧力 1.0MPa, クーラント流量 6L/min とし、60 分間の加工を行った。

(2) 高速固定砥粒研磨における砥石周速度高速化および加工圧力の影響

上記のツルーイング特性の検証と同様に SPC を使用した。表 2 に示すように砥石周速度を 30m/s から 90m/s まで高速化して実験を行った。なお、砥石周速度 100m/s 付近で実験装置の共振が発生したため、最高速度は 90m/s とした。また、加工点への UV 照射が極めて困難な実験装置だったため、ここでは UV 照射は行わず、高速固定砥粒研磨の加工特性を明らかにした。

表2 高速固定砥粒研磨に関する実験条件

工作物		CVD ダイヤモンド	PCD
砥石周速度	[m/s]	30, 60, 90	
加工圧力	[MPa]	0.5	0.5, 1.0, 1.5
クーラント流量	[L/min]	15	6
加工時間	[min]	15	60

4. 研究成果

(1) 高速固定砥粒研磨用砥石のツルーイング特性

表 1 に記載の各条件でツルーイングを実施した結果、砥石作業面の表面形状に対するツルーイング周速度比の影響は大きくないことが明らかになった。図 2 にツルーイング後に高速固定砥粒研磨を施した PCD 表面を光学式 3D プロファイラ (NewView8200, ZYGO 社製) で計測した結果をまとめた。この結果より、工作物の表面粗さはツルーイング周速度比に対して増加傾向を示すことがわかる。一方、図 3 および図 4 に示した加工能率および砥石摩耗においては、ツ

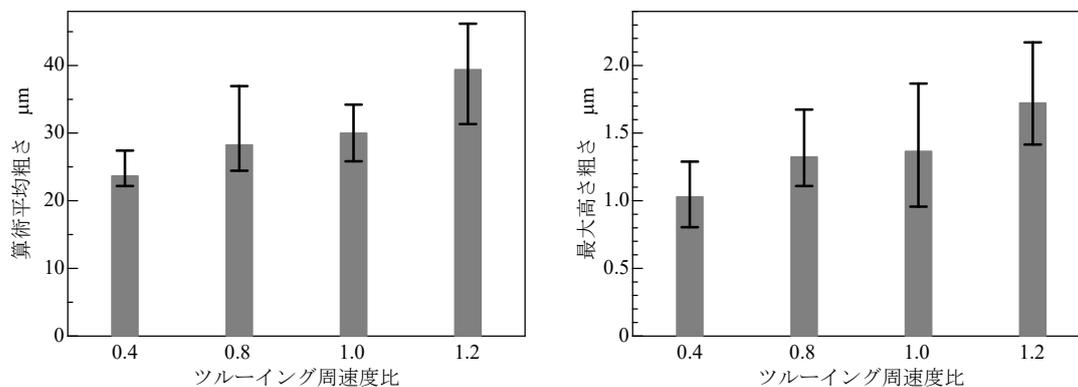


図2 ツルーイング周速度比と表面粗さの関係

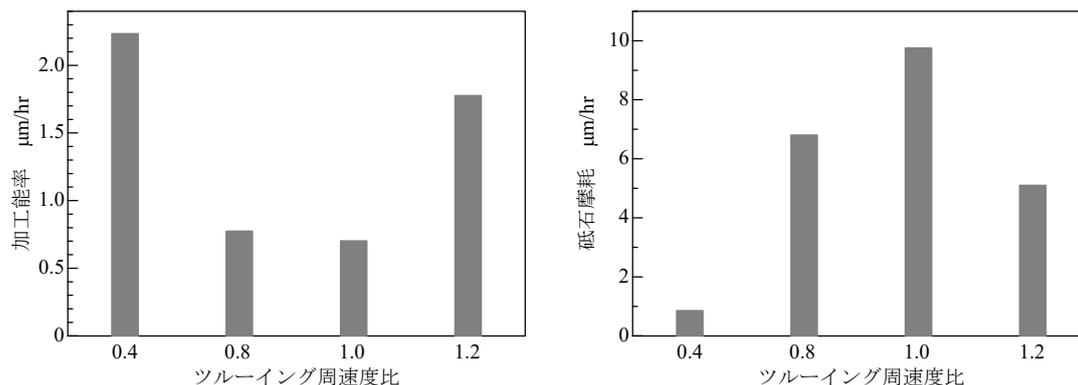


図3 ツルーイング周速度比と加工能率

図4 ツルーイング周速度比と砥石摩耗

ルーイング周速度比 1.0 付近が極大極小となった。ツルーイング周速度比が 1.0 に近いほどクラッシング作用が大きくなることで砥石の初期摩耗が増大したためと考えられる。

(2) 高速固定砥粒研磨における砥石周速度高速化および加工圧力の影響

図 5 に高速固定砥粒研磨後の CVD ダイヤモンド表面を光学式 3D プロファイラで計測した結果を示す。成膜後の CVD ダイヤモンドに対してわずか 15 分で 1nmSa を下回る鏡面加工を実現した。砥石周速度の高速化に伴って表面粗さが低減していることがわかる。高速化による加工熱の増大によってダイヤモンド表面が脆弱化し、効率的に除去されたためと考えられる。図 6 に各砥石周速度における高速固定砥粒研磨後の PCD 表面を光学式 3D プロファイラで計測した結果を示す。砥石周速度 60m/s で加工を行った際、砥石に以上摩耗が発生し、脱落砥粒の影響で PCD の表面粗さも増大する結果となった。一方、砥石周速度を 90m/s まで高速化することで、表面粗さの低減効果が得られた。図 7 に各加工圧力における高速固定砥粒研磨後の PCD 表面を光学式 3D プロファイラで計測した結果を示す。加工圧力の増加に伴って表面粗さが低減されていることがわかる。加工熱の増大によって PCD 表面の化学反応が促進されたと考えられる。

以上より、CVD ダイヤモンドおよび PCD に対して高速固定砥粒研磨による加工能率の改善効果が得られることを明らかにした。

(3) Turn Polishing ユニットの開発

High-Speed Turn Polishing 法を実現するために、定圧機構を有する Turn Polishing ユニットのプロトタイプを製作した。本ユニットはエアシリンダによる定圧機構に加え、ユニット自身の自重を補償するためのカウンターウェイトを備える構造とした。加工時の性能評価が未達成のため、今後も引き続き研究を続ける。

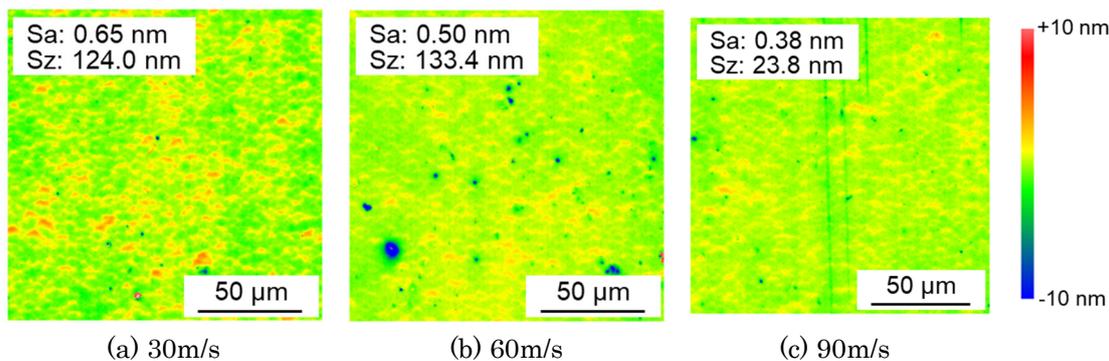


図 5 高速固定砥粒研磨後の CVD ダイヤモンド表面

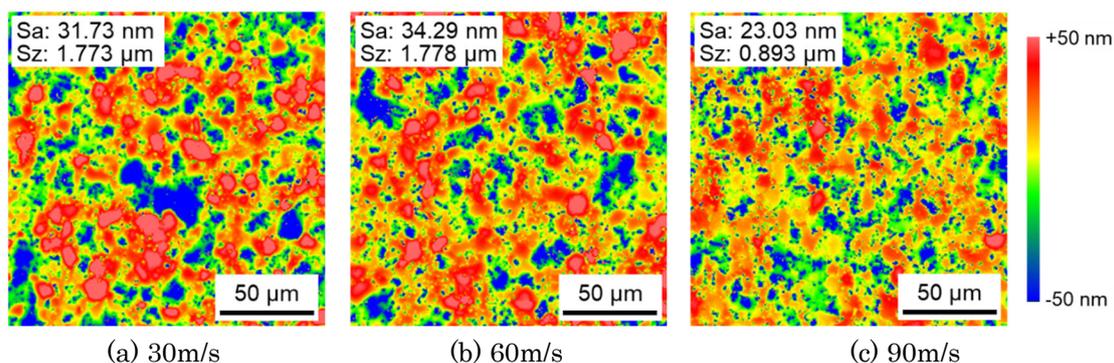


図 6 高速固定砥粒研磨後の PCD 表面 (砥石周速度の影響)

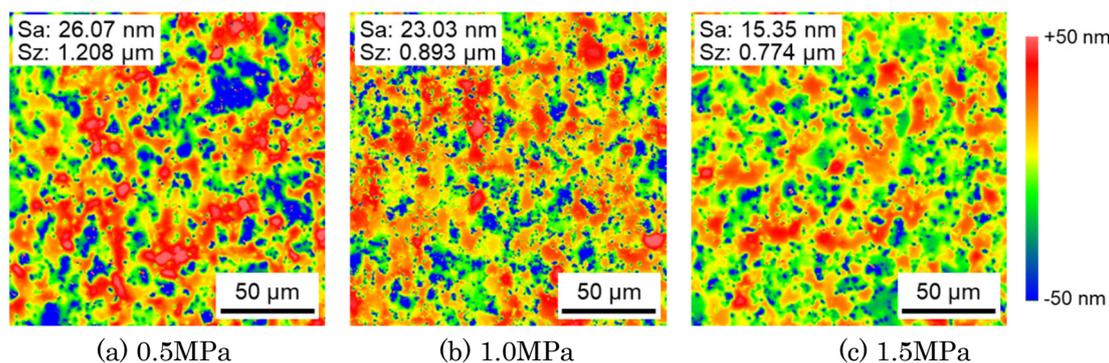


図 7 高速固定砥粒研磨後の PCD 表面 (加工圧力の影響)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 滝澤寛己, 吉村, 吉村友汰, 山口桂司, 太田稔, 恩地好晶, 棚田憲一
2. 発表標題 複合砥粒砥石によるダイヤモンドの高速固定砥粒研磨
3. 学会等名 2021年度砥粒加工学会学術講演会（ABTEC2021）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------