

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：33811

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04114

研究課題名(和文)ダイヤモンド焼結体(PCD)工具の工具成型手法と工具寿命の相関に関する研究

研究課題名(英文) Study about the fabrication method dependences to the tool lifetimes of a Polycrystalline diamond (PCD) tool

研究代表者

楠本 利行 (Toshiyuki, Kusumoto)

光産業創成大学院大学・光産業創成研究科・助教

研究者番号：60715051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：切削技術はものづくり技術として一般的に利用されており、その道具の一つである切削工具の寿命は生産性能と直結しているため、重要である。本研究では焼結ダイヤモンド(PCD)を用いた切削工具における工具寿命と刃先成形技術の依存性に関して研究した。刃先成形技術として油放電加工技術(EDM)とフェムト秒超短パルスレーザー加工技術(fsLaser)の2種類を選択した。その結果、fsLaserで刃付けしたPCD刃物の方が、EDMで刃付けしたPCD刃物と比較して刃先丸みが大きくなる切削距離が長くなり、寿命が長くなることを定量的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

PCD工具はダイヤモンド無垢材工具と比較して刃先成形が容易であり、超鋼工具と比較して工具寿命が長いことから、鉄以外の金属や樹脂などの切削加工用工具に利用されている。PCD工具の精密かつ微細工具成形方法として放電加工成形技術や超短パルスレーザー加工技術が使われるが、それぞれの成形加工機は一長一短があるため、用途に合わせて使い分ける必要が生じている。本研究では、工具寿命と相関がある工具刃表面性状を評価するためのラマン分光計測技術の応用方法を確立したことに学術的意義がある。また、工具寿命は工場などにおける生産性に直接的に関係しているため、寿命の評価ができる技術を確立できたことは社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Cutting technology is generally used as manufacturing technology. The life of the cutting tool is important because it is directly linked to production performance. In this study, we studied the dependence of the life of tool and cutting edge shaping method on cutting tools using polycrystalline diamond (PCD). Oil electric discharge machining method (EDM) and femtosecond ultrashort pulse laser machining method (fsLaser) is selected as cutting edge shaping methods.

As a result, it was quantitatively clarified that the PCD endmill with fsLaser has a longer life than that with EDM.

研究分野：レーザー加工

キーワード：焼結ダイヤモンド エンドミル 寿命 フェムト秒超短パルスレーザー加工 油放電加工 ラマン分光

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンド焼結体(PCD)は、ダイヤモンド粒子をコバルトなどのバインダーで焼結させた材料であり、工具材料の一つであるダイヤモンドと比べて工具成形が容易であるために複雑な形状の工具を成形しやすく廉価であることから、PCDを用いた切削工具は、鉄を除く金属や樹脂加工で非常に利用されている。PCD切削工具の成型加工方法として、ワイヤー放電加工や砥石研削加工、レーザー加工などが利用されている。しかしながら、それぞれの加工において、加工時の熱影響などによるダイヤモンド変質層の厚さなど生成状況は異なっており、その変質層が工具寿命に与える影響は明らかになっていない。

2. 研究の目的

PCD切削用工具における、グラファイトなど刃先成形加工時の熱影響層生成によるダイヤモンド層残留割合、および刃先丸みなどの外観形状と、工具寿命の相関を明らかにする。

3. 研究の方法

切削方法として、エンドミル工具によるワーク側面のフライス加工とした。ワークとして厚み3mm×幅50mm×長さ200mmのガラスエポキシ樹脂を用いた。切削用装置としてロボドリル(FUNUC)を用いた。切削条件は、工具回転数6,000rpm、工具径13mm、送り速度1200mm/min、切削方式としてアップカットとダウンカット両方、切削環境としてドライスライスである。切削加工の外観写真を図1に示す。



図1 切削加工の外観写真

エンドミル工具用刃先として、刃長6mmの1枚刃チップを用いた。このチップを刃先交換式エンドミル(OSG)に設置して切削加工を行った。バイト刃成形加工方法として、油ワイヤー放電加工(EDM)、およびパルス幅100fs、繰り返し周波数1kHzの超短パルスレーザー光(SpectraPhysics)を光源として、3次元移動ステージ(シグマ光機)をワーク移動に用いたレーザー加工装置を用いた超短パルスレーザー加工の2種類を選択した。

刃先評価方法として、レーザー顕微鏡測定から刃先丸みを、ラマン分光計測からダイヤモンド層とその変質層の割合をそれぞれ決定した。なお、刃先丸みが大きくなることにより、切削用刃物としての切削性が悪くなるため、刃先丸みの変化量が工具寿命と相関している。

4. 研究成果

切削加工試験を実施する前のPCDエンドミルに対して、刃付けをしていないラップ面とEDMおよび超短パルスレーザー加工で刃付けしたエンドミル(以降、EDMエンドミルおよびfsレーザーエンドミルと略す)の加工面のラマン分光計測結果を図2に示す。図2の中で、ラマンシフト1333cm⁻¹付近に存在するピークがダイヤモンド由来の信号である^①。ラマン分光計測の特性として、ダイヤモンド由来のラマン信号の強度とラマン計測用レーザー照射部分に存在するダイヤモンドの割合は比例する。よって、ラップ面と刃付け面のラマン信号強度の面積比は、刃付け加工後に残留したダイヤモンドの割合と一致する。図2のグラフから計算したところ、EDMおよび超短パルスレーザー加工により刃付けした面のダイヤモンド残留割合はそれぞれ、28%および56%で会った。この理由として、超短パルスレーザーの照射時間(100fs)は一般的な材料の熱による塑性変形時間(おおよそ100ps)よりも早いため、EDMと比較して熱影響が生じにくかったことと考えられる。これらの結果から、ラマン分光計測を用いることで、fsレーザーエンドミルの方が、EDMエンドミルよりもダイヤモンドへの熱影響が生じにくいことを定量的に評価できることを明らかにした。

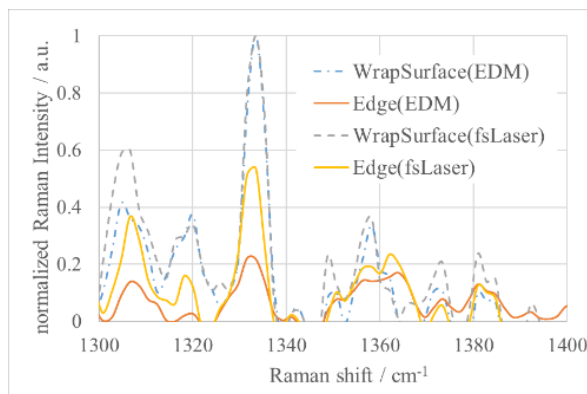


図2 ラマン分光計測結果

評価すべき切削距離を明らかにするため、EDMエンドミルの刃先丸みの切削距離依存性を計測した。その結果を図3に示す。加工距離1.0mまでに刃先丸みが大きく変化(0.646±0.098μm → 3.224±0.208μm)し、それ以降の切削距離では緩やかに大きくなっていくことが分かった。この結果などから考察し、本研究では、切削距離0.5m、1.0m、および8.0mにおける刃先丸み

を評価することにした。EDM エンドミルおよび fs レーザーエンドミルの切削距離 0.5m、1.0m、および 8.0m の刃先丸みを計測した結果をそれぞれ図 4 および図 5 に示す。図 4 から、EDM エンドミルは切削距離 0.5m でも刃先丸みが ($0.824 \pm 0.090\mu\text{m} \rightarrow 3.224 \pm 0.277\mu\text{m}$) と大きく変化させており、図 3 の切削距離 1.0m 以降と同様の挙動を示すと推測される。一方、図 5 から fs レーザーエンドミルの場合、切削距離 0.5m では切削前と誤差の範囲内で変化がなく ($0.792 \pm 0.132\mu\text{m} \rightarrow 0.797 \pm 0.137\mu\text{m}$)、切削距離 1.0m で急激の大きくなっている。また、切削距離 0.8m では刃先丸みは $5.527 \pm 0.234\mu\text{m}$ となっており、EDM エンドミルの切削距離 0.8m の場合 ($5.379 \pm 0.313\mu\text{m}$) と誤差の範囲で一致した。これらのことから、fs レーザー加工による刃先成形技術で成形した刃先の方が、EDM 加工による刃先成形技術で成形した刃先よりも寿命が長いことを定量的に明らかにした。

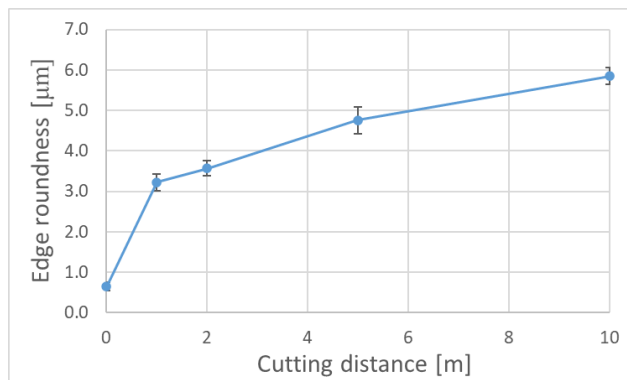


図 3 EDM エンドミルの刃先丸みの切削距離依存性

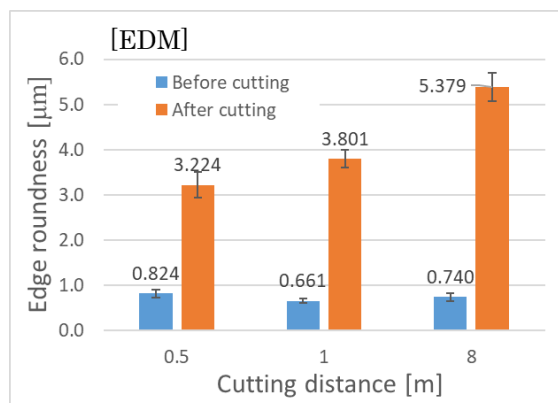


図 4 EDM エンドミルの刃先丸みの切削距離依存性

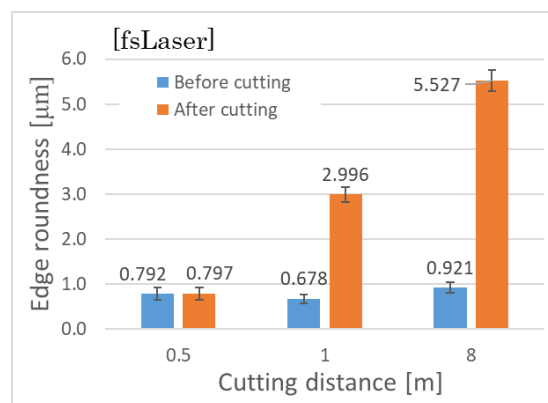


図 5 fs レーザーエンドミルの刃先丸みの切削距離依存性

ラマン分光計測による切削前のエンドミルのダイヤモンド粒子残留割合と、レーザー顕微鏡測定によるエンドミルの刃先丸みの切削距離依存性から、刃先成形技術の異なるエンドミルで切削加工を行った場合、以下のような現象が生じていると考えられる。EDM エンドミルの場合、刃先表面の熱影響層が大きいため、その熱影響層の接着強度が小さくなっている。そのため、切削距離 0.5m でその熱影響層がはがれてしまい、すぐに刃先丸みが大きくなる。それ以降の切削加工時には、熱影響層がはがれた後の刃先が切削加工をしていき、その摩耗によって刃先丸みが大きくなる。一方、fs レーザーエンドミルの場合、熱影響層が小さいため、切削距離 0.5m ではその熱影響層がはがれず、切削加工による摩耗に耐えている。しかしながら、切削距離 1.0m で熱影響層がはがれてしまい、刃先丸みが大きくなってしまふ。それ以降の切削加工時は、熱影響層がはがれた EDM エンドミルと同様の加工現象が生じていると考えられる。

まとめとして、本研究では PCD 切削用工具における、グラファイトなど刃先成形加工時の熱影響層生成によるダイヤモンド層残留割合、および刃先丸みなどの外観形状と、工具寿命の相関を明らかにすることを目的に実験を実施した。切削加工方法は、ガラスエポキシ樹脂の側面フライス加工であった。刃先成形加工方法として、EDM と fs レーザー加工の 2 種類を選択した。ラマン分光計測を用いて刃先成形加工後のダイヤモンド粒子残留割合を定量的に評価した。レーザー顕微鏡を用いて刃先丸みを定量的に評価した。その結果、fs レーザー加工技術を用いて成形した刃先の方が、EDM を用いて成形した刃先よりも寿命が長いことを明らかにした。また、その理由として刃先成形時の熱影響層生成によるダイヤモンド粒子残留割合が関係している示唆を得ることができた。

<引用文献>..

- ① 吉川正信、ラマン分光法によるダイヤモンド薄膜の評価、表面技術、42(12)、1217-1220、1991。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 楠本利行 | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 機械学習を応用したフェムト秒超短パルスレーザー加工の高度化 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 レーザー研究 | 6. 最初と最後の頁 142-148 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|----------------------------|
| 1. 著者名 Kusumoto Toshiyuki、Mori Kiyokazu | 4. 巻 11673 |
| 2. 論文標題 Prediction of ultrashort pulse laser ablation processing using machine learning | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proc. SPIE | 6. 最初と最後の頁 1167303-1--6 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2577447 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiyuki Kusumoto, Kiyokazu Mori |
| 2. 発表標題 Prediction of ultrashort pulse laser ablation processing using machine learning |
| 3. 学会等名 Photonics West 2021, Laser Applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing (LAMOM) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 楠本利行 |
| 2. 発表標題 フェムト秒超短パルスレーザー加工への機械学習の適応事例 |
| 3. 学会等名 日本原子力研究開発機構「レーザー応用技術 産学官連携成果報告会(令和元年度)」 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 楠本利行、森清和 |
| 2. 発表標題 機械学習によるフェムト秒レーザー除去加工性能の予測 |
| 3. 学会等名 第92回レーザー加工学会講演会 |
| 4. 発表年 2019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 |
|---------|---------|
| | |