

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13847

研究課題名(和文) 切削油蛍光プローブによる工具刃先形状のオンマシン計測

研究課題名(英文) On machine measurement of cutting tool profile using fluorescent from cutting fluid

研究代表者

道畑 正岐 (Michihata, Masaki)

東京大学・先端科学技術研究センター・助教

研究者番号：70588855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では切削油が波長400 nm程度の紫外光に対して、可視域の蛍光を放出する特性に着目し、切削油が発する蛍光を信号として、工具刃先形状の机上計測技術の開発を目指し、研究を行った。実験的に数 μ m程度の磨耗痕も測定可能であり、つまり、本手法は切削油の蛍光を取得することで、切削油が付着した状態でもマイクロスケールの工具磨耗を測定することが可能であった。このように、本手法を用いたオンマシンでの計測の工具形状計測可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：We propose a novel, on-machine method of measuring a cutting tool edge by using the cutting fluid on the tool surface. Because of an environment of on-machine tool profile measurement, it is difficult to measure a cutting edge profile with conventional optical methods. To overcome this problem, we propose a profile measurement method that uses confocal fluorescent detection from the cutting fluid on the tool surface. Moreover, for precise measurements, a method that corrects for the thickness of the cutting fluid is provided. The proposed method was fundamentally validated by measurement results for detailed tool wear profiles. This novel measurement technique produces results with sub-micron accuracy.

研究分野：光応用加工計測

キーワード：切削油蛍光 工具計測 オンマシン計測 蛍光共焦点

1. 研究開始当初の背景

機上での工具刃先計測が工具取り付け誤差や時間短縮の観点から有意義であることに加え、先端加工工具開発においても重要度が増している。機械加工工具の仕様として、形状や材料に加えて表面特性があり、近年、この工具の表面特性が、加工性能に劇的な変化を及ぼすことからその重要性が注目されている。例えば、表面コーティング、油含浸工具、表面テクスチャーなどがある。工具表面の数 μm から数十 μm に形成される膜や微細構造が加工特性を変化させるメカニズムについては未知のものが多く、このメカニズムの解明や加工状態のモニタリングのために、工具刃先を機上計測する技術が求められている。機上計測への要求として、次の項目が挙げられる。

- エンドミルのような複雑形状も測定可能
- 計測分解能 100 nm 以下で高速測定
- 切削油などが付着した状態で計測可能

一般の機械加工では、経験値に基づいて熟練工が摩耗などを判断することもあるが、表面の変化数 μm の定量評価は難しい。Acoustic emission(AE)センサによるモニタリングは、チッピングなどの急峻な変化には効果的ではあるが、摩耗による変化はノイズに埋もれ測定できない。触針式の粗さ計や原子間力顕微鏡は、分解能は十分で汎用性は高いが測定度が遅い。Point auto focus 顕微鏡などの光学測定は高速かつ高分解能であるが、切削油が付着した状態での測定は不可である。

2. 研究の目的

本研究では切削油が波長 400 nm 程度の紫外光に対して、可視域の蛍光を放出する特性に着目し、切削油が発する蛍光を信号として、上記条件を満足する機上計測技術の開発を目指す。

3. 研究の方法

図 1 に示すように、蛍光特性を持つ切削液で覆われた工具表面近傍を、光学系の励起光の集光スポットが通過する場合を考える。集光スポットが切削液に到達すると、光学系で取得する蛍光強度が増加し、切削液領域を通過すると、蛍光強度は急激に減少する。こうして得た蛍光強度のピーク位置から工具表面の位置を同定する。様々な位置で工具表面位置の座標を測定し、工具刃先形状を計測する。蛍光は励起光の照射方向に依存せず、一様な強度で放射状に発生する。そのため、図 1(b)のように 90°以上の勾配を持つ面に対物レンズから励起光を照射し蛍光を発生させた場合であっても、蛍光の検出が可能である。測定分解能に関して、共焦点光学系によって、サブミクロン以下が期待できる。

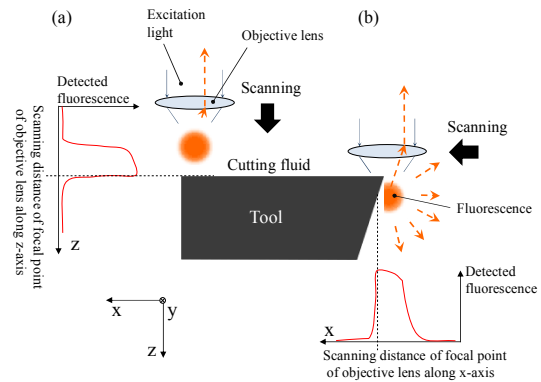


Fig.1: Concept of proposed method

4. 研究成果

(1) 切削油蛍光の検証

蛍光発光源として汎用的に機械加工で用いられている非塩素系極圧剤が添加された切削液である油性切削液の MP15 (ダフニーマグプラス) を使用した。蛍光分光光度計で測定した MP15 の励起-蛍光スペクトルを図 2 に示す。441 nm 付近に励起光の極大ピーク、457 nm 付近に蛍光波長の極大ピークを検出できた。

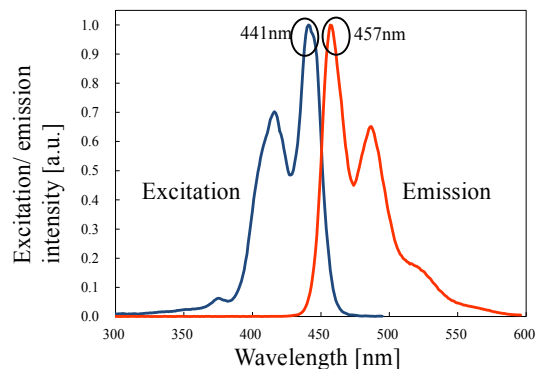


Fig.2: Fluorescent wavelength of MP15.

MP15 を塗布したシリコンウエハを、水平に設置し、波長 448 nm の励起光を照射する。蛍光信号を蛍光共焦点光学系での対物レンズの NA は 0.8、蛍光検出には PMT を用いた。光軸方向にシリコンウエハを 50 μm 走査した結果を図 3 に示す。同様の測定を、MP15 塗布のないウエハに対しても行った。橙色の信号が MP15 の測定結果、青色がシリコンウエハのみの結果である。MP15 を塗布している

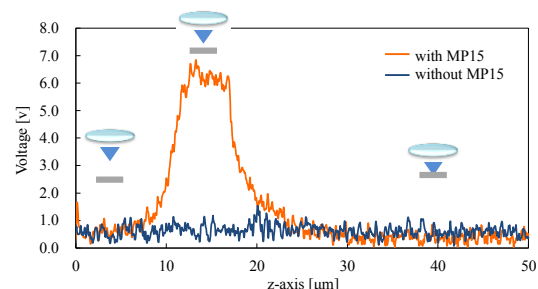


Fig.3: Result of fluorescent detection of MP15.

場合にのみ、10~20 μm の領域で信号が得られており、MP15 油膜からの蛍光検出可能である事を示すことができた。

(2) 切削油蛍光による工具計測

次に、本提案原理を用いてフライス加工に用いるスローアウェイチップの刃先形状計測を実施し、その性能を検証した。測定の概要を図4に示す。いくつかの条件で加工し、摩耗した工具を用いる一つは、初期摩耗で数 μm の摩耗痕があるもの、もう一つは大きく摩耗したものである。その摩耗工具に切削油 MP15 を塗布し、図4(b)に示すような手順で、工具表面プロファイル計測を行った。各点で 100 μm 光軸スキャンを行い共焦点信号を取得し、表面位置を検出している。測定は X 軸方向に 10 μm 間隔で行った。その計測結果を図5に示す。赤いプロットが実験によって得られた測定点である。黒実線はオイルがない状態で表面粗さ系によって測定したプロファイル、青実線は MP15 を塗布した状態でのレーザー顕微鏡の測定値である。また、オレンジ

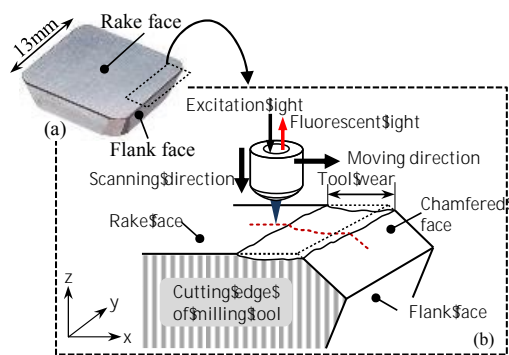


Fig.4: Measurement procedure.

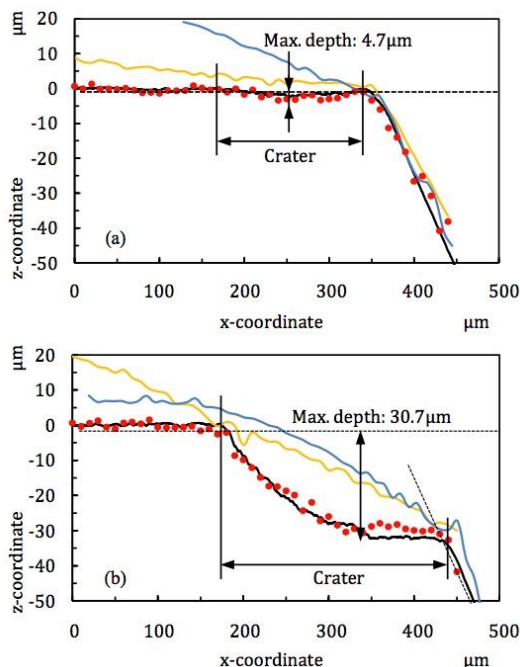


Fig.5: Measured profiles of the tool edge profile. (a) Shallow crater. (b) largely worn surface.

ジ実線は本手法によって得られたオイル表面の位置を示している。図のように、レーザー顕微鏡では測定が困難であった表面を本手法では計測可能であることがわかる。また、磨耗痕深さ 5 μm 程度であっても本手法でトレース可能であることがわかる。また、同図(b)のように比較的厚い切削油が存在しても表面プロファイルを測定可能であることがわかる。

このように本手法は切削油の蛍光を取得することで、切削油が付着した状態でもマイクロスケールの工具磨耗を測定することが可能であり、本手法を用いたオンマシンでの計測の工具形状計測可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

Y. Takaya, K. Maruno, M. Michihata, Yasuhiro Mizutani, Measurement of a tool wear profile using confocal fluorescence microscopy of the cutting fluid layer, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 65, No. 1 (2016) pp. 467-470.

K. Maruno, M. Michihata, Y. Mizutani, Y. Takaya, Fundamental study on novel on-machine measurement method of cutting tool edge profile based on fluorescent confocal microscope, International Journal of Automation Technology, vol.10, no.1 (2016) pp.106-113.

[学会発表](計9件)

M. Michihata, Proposal of in-process measurement for micro-stereolithography using surface plasmon resonance, 9th International Conference on Photonic Technologies (LANE 2016), September 19-22, 2016, Furth (ドイツ)

M. Michihata, In-process measurement for micro-stereolithography using surface plasmon resonance -Numerical study to design plasmonic substrates-, International conference on precision engineering (ICPE), November 14-16, 2016 浜松(静岡)

K. Maruno, M. Michihata, On-machine measurement of cutting tool edge profile by detecting fluorescence from cutting fluid, International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT2015), Oct. 14 - 16, 2015, Neuchatel (スイス)

高谷裕浩, 道畑正岐, 水溶性切削液のレーザー励起蛍光特性を利用した工具刃先形状計測法の基礎的検討, 日本機械学会年次大会, 2017年9月, 埼玉大学(埼玉)

D. Kong, M. Michihata, 表面プラズモン共鳴によるナノ光造形インプロセス計測に向けた PLZT 多層膜の最適化 (Optimization on a PLZT based multi-layer surface plasmon resonance substrate used in

in-process measurement of nano-stereolithography), Optics & Photonics Japan 2016, , 2016年10月(東京・文京区)

孔 徳卿, 道畑正岐, 表面プラズモン共鳴を用いたマイクロ光造形のインプロセス計測, 第11回 日本機械学会 生産加工・工作機械部門講演会, 2016年10月, 名古屋大学(愛知)

高谷裕浩, 道畑正岐, 切削液の蛍光共焦点検出を利用した工具刃先摩耗形状計測に関する基礎研究, 日本機械学会年次大会, 2016年10月, 九州大学(福岡)(2016)

丸野兼治, 道畑正岐, 蛍光共焦点法による工具刃先形状の机上計測に関する研究(第2報)-切削液からの蛍光の共焦点検出-, 精密工学会学術講演会春季大会, 2016年3月, 東京理科大学(千葉)

丸野兼治, 道畑正岐, 蛍光共焦点法による工具刃先形状の机上計測に関する研究-(第一報)水平面における切削液の油膜の基礎検討-, 精密工学会学術講演会秋季大会, 2015年9月, 東北大学(宮城)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/masakimichihata/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道畑 正岐 (Michihata, Masaki)

東京大学 先端科学技術研究センター・助教

研究者番号: 70588855