

油中超短パルスレーザ照射による新しいトライボ特性向上技術

Proposal of a new tribo-characteristic Improvement Technique by Ultra-short Pulsed Laser Irradiation in Oil

名工大（正）*劉 晓旭 名工大（非）田中 良樹 名工大（正）前川 覚

名工大（正）小野 晋吾 名工大（正）糸魚川 文広

Xiaoxu Liu *, Yoshiki Tanaka*, Satoru Maegawa*, Shingo Ono*, Fumihiro Itoigawa*

* Nagoya Institute of Technology

1. はじめに

近年、さらなる高精度・高能率加工が求められ、新しいレーザ援用加工技術は注目を浴びている。特に、超短パルスレーザでは高いピークパワーを有するため、局所的な高活性空間を作り出すことができ、除去作用のほとんどない表面改質が可能となる¹⁾。また、最近では小型の超短パルスレーザも開発されており、工作機械への実装も容易となっている。加工面には切削加工油などの油分が混入する場合が多くため、表面に付着する油分を炭素供給源としてレーザ照射による炭化の表面改質が期待できる。既往の研究²⁾よりチタン合金(Ti-6Al-4V)といった金属表面に油を微量塗布してピコ秒レーザ照射を行うことで、表面性状を悪化させず、表面にはTiCの硬質炭化物層が生成されることがXPS分析より明らかになっている。すなわち、超短パルスレーザ照射は焼入れ硬化に加えて表面に塗布された油膜成分と金属との反応により硬質な炭化物層の生成を実現することを明らかにしている。以上を踏まえて、本研究では超短パルスレーザ照射により工作物に付着した油剤を炭素供給源とした硬質炭化物層を生成する新しいトライボ特性向上技術を提案する。さらに、既存の光学系を再設計（照射スポットの微細化やスキャン範囲の拡大）することで、トライボロジー特性の向上に有効であると予想される微細なパターニング加工は、耐摩耗性の向上に加えて、なじみ性の向上による低摩擦化などの効果も期待される。本報では超短パルスレーザを用いて油中のレーザパターニング照射実験を行うことで、創製した金属工作物の表面性状変化とトライボロジー特性変化を調査した。

2. 実験装置及び実験方法

Figure 1(a)に本研究で使用したピコ秒レーザシステムの模式図を示す。使用したマイクロチップレーザの波長は1064 nm、パルス幅は900 ps、繰り返し周波数20 Hz、パルスエネルギーは125 μJである。集光光学系はf 100mmの平凸単レンズである。レーザ光は直動ステージに固定した試験片に入射角は90°で照射した。試験片の材料として表面研磨されたチタン合金(Ti-6Al-4V)を用意する。PAO油を充填した石英セルに試験片を入れ、Fig. 1(b)のように10×10 mmの長方形面積をパルスレーザがスキャンする。均一照射する際、スキャン速度によりパルス重なりを調整することで、有効パルス数Nは16, 32の二つの条件で行った。パターニング照射は、先に先と同じく有効照射数16の均一照射を施し、そして横方向に有効照射数N=16でスキャンし、縦方向に一定間隔(100 μm/ 200 μm それぞれ二種類)ずらして走査を行った。最後に、照射面のトライボロジー特性を調べるために、Figure 2に示すように油中の往復摩擦試験を行った。摩擦試験の実験条件をTable 1に示す。

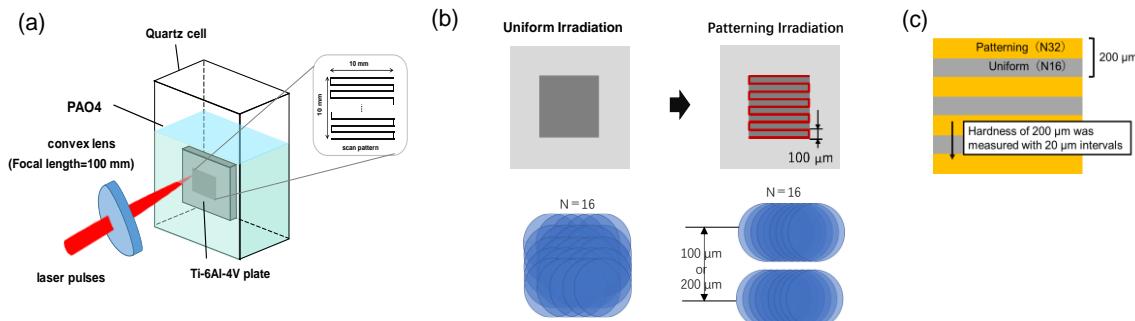


Fig. 1 Schematics of laser irradiation in oil

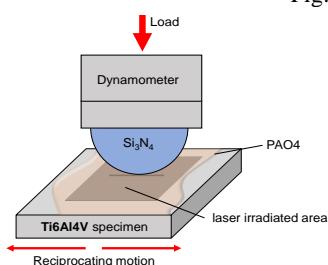


Fig. 2 Schematics of reciprocating friction tester

Table 1 Condition of friction test

counterpart	Φ8mm Si3N4 ball
Sliding distance	5 mm
Applied load	10 N
Lubricant oil	PAO4

3. 実験結果及び考察

チタン合金レーザ照射後のトライボロジー特性を調べるために、往復摩擦試験を行った。均一照射 N16, N32, とパターニング照射間隔 100, 200 μm , それぞれ四つの加工条件下での試験片に対する摩擦係数を Figure 3 に示す。その結果、均一加工の結果に比べて、パターニング照射加工の低摩擦が持続できる時間、すなわち、改質層の寿命が著しく大幅に延びていることがわかった。特に、パターニング 1 の場合は均一照射のパルス数 N32 と比べると、約 13 倍のすべり寿命になってきた。

この結果から、2 回目のパターニング照射により加工面にレーザ照射間隔と同じ周期的な硬度分布が形成されたのではないかと考えた。このため、4 つの異なる条件下での加工面について、パターニングの水平方向と直交する方向に対して、Figure 1(c) のように測定点から 20 μm 間隔で 200 μm 分の硬さを測定した (Figure 4)。例えば図中の間隔 200 μm の加工では、200 μm はちょうど 1 周期である。しかし、Figure 4 のパターニング加工後の結果から、周期的な硬度変化は見られなかった。Figure 5 に示すのは 4 つの異なる条件下での加工面の硬度のまとめであり、未照射試験片の硬度 (7.5 GPa) に対して、すべてのレーザ加工後の硬度が著しく向上していることが分かった。ここで注目すべきは、間隔 100 μm のパターニング加工は、N32 の均一照射投入の総レーザエネルギーよりも低いが、全体的に硬度が明らかに高いことである。レーザ均一照射後の加工面の XRD 結果 (Figure 6) から、N16 と 32 の両条件下での TiC 生成の差は殆どないことが分かった。さらに、周期的な硬度変化がないため、二回目のパターニング照射により炭化物がより多く生成されたことはないと考えられる。よって、パターニング加工では時間間隔がある N=16 の 2 回の加工であるため、熱ひずみによるアニーリング効果がパターニング加工の加工面硬度向上に大きく寄与しているのではないかと考えられる。

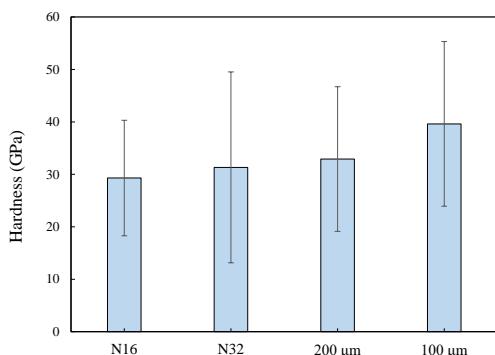


Fig. 5 Hardness of surfaces under four different laser irradiation conditions

4. おわりに

本研究では、小型で工作機械での機上レーザ表面改質に使用可能なマイクロチップレーザを用いて、チタン合金表面に油中照射での表面改質試験を行った。油中往復摩擦試験では、均一照射に比べて更にパターニング照射を実施することで、低摩擦維持できる距離がより伸びることができ、今回均一照射 (N=32) の 13 倍のすべり距離に達成できた。この照射法における熱ひずみによるアニーリング効果が硬度向上の重要な要因ではないかと考えられる。

文献

- 1) Liu, X., Natsume, K., Maegawa, S., & Itoigawa, F.: Improvement of crystallization in CVD diamond coating induced by femtosecond laser irradiation, *Diamond and Related Materials*, 107, (2020) 107883.
- 2) 藤原獎, 樋口和夫, 日本機械学会 2020 年度年次大会 講演論文集, (名古屋 2020.09)

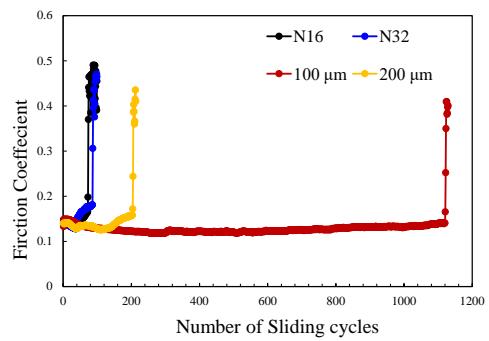


Fig. 3 Friction coefficient of different laser irradiated surfaces as a function of number of sliding cycles

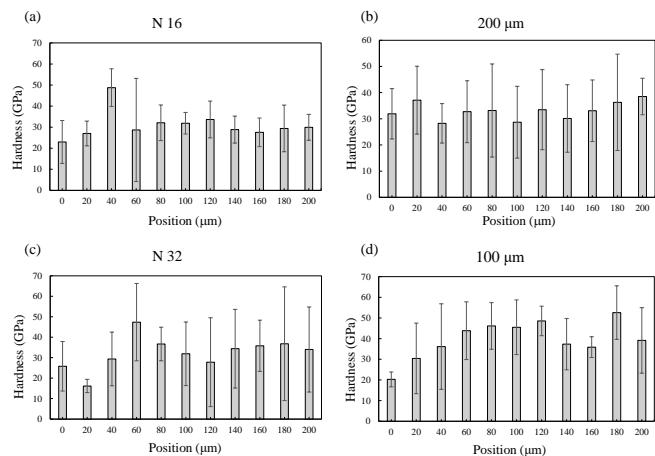


Fig. 4 Hardness distribution of surfaces under four different laser irradiation conditions: uniform irradiation (a) N=16 (c)=32 and patterning irradiation with interval of (b) 200 μm (d) 100 μm

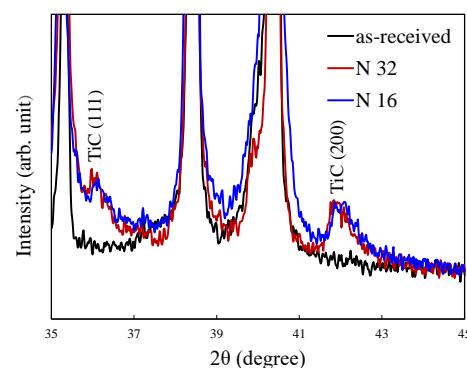


Fig. 6 XRD spectra of uniformly laser irradiated surfaces