

# 油中超短パルスレーザー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 曉旭 名工大（非）田中 良樹 名工大（正）前川 寛

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、新しいレーザー援用加工技術は注目を浴びている。特に、超短パルスレーザー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<sup>1)</sup>。また、最近では小型の超短パルスレーザーも開発されており、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いため、表面に付着する油分を炭素供給源としてレーザー照射による炭化の表面改質が期待できる。既往の研究<sup>2)</sup>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ー照射を行うことで、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、超短パルスレーザー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ー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ンニング加工は、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ーを用いて油中のレーザーパターン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ー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ーの波長は 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  $\mu$ J である。集光光学系は f 100mm の平凸単レンズである。レーザー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ーがスキャンする。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。パターンニング照射は、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  $\mu$ m / 200  $\mu$ m 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。

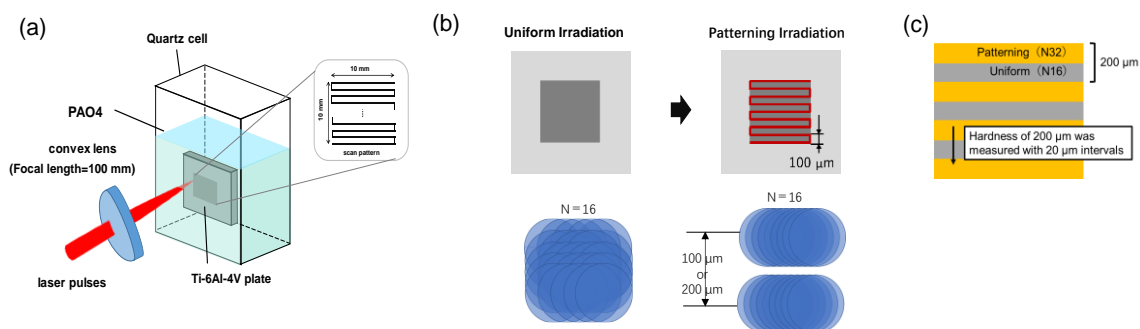


Fig. 1 Schematics of laser irradiation in oil

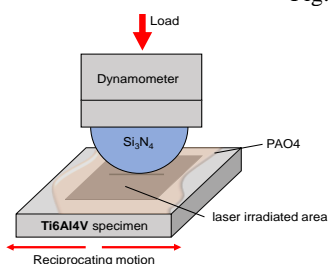


Fig. 2 Schematics of reciprocating friction tester

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

チタン合金レーザー照射後のトライボロジー特性を調べるため、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  $\mu\text{m}$ , 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ー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  $\mu\text{m}$  間隔で 200  $\mu\text{m}$  分の硬さを測定した (Figure 4)。例えば図中の間隔 200  $\mu\text{m}$  の加工では、200  $\mu\text{m}$  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、すべてのレーザー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  $\mu\text{m}$  のパターニング加工は、N32 の均一照射投入の総レーザーエネルギーよりも低い、全体的に硬度が明らかに高いことである。レーザー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。

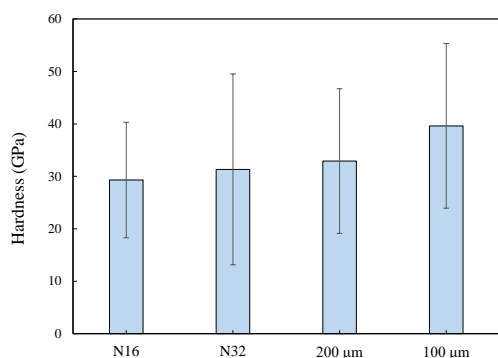


Fig. 5 Hardness of surfaces under four different laser irradiation conditions

### 4. おわりに

本研究では、小型で工作機械での機上レーザー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) 藤原奨, 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)

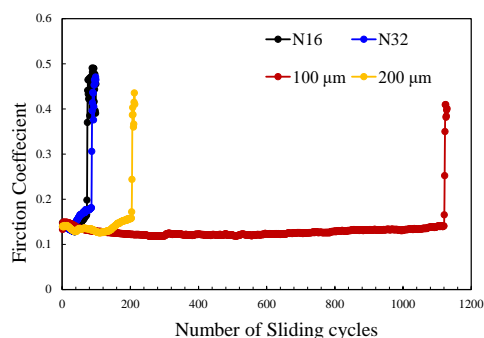


Fig. 3 Friction coefficient of different laser irradiated surfaces as a function of number of sliding cycles

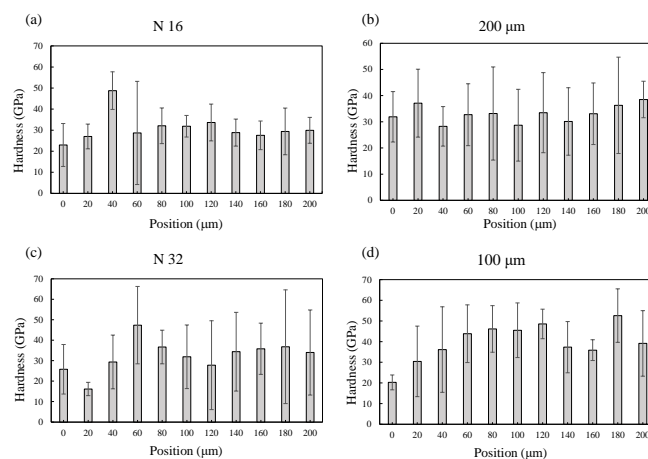


Fig. 4 Hardness distribution of surfaces under four different laser irradiation conditions: uniform irradiation (a) N=16 (c)=32 and patterning irradiation with interval of (b) 200  $\mu\text{m}$  (d) 100  $\mu\text{m}$

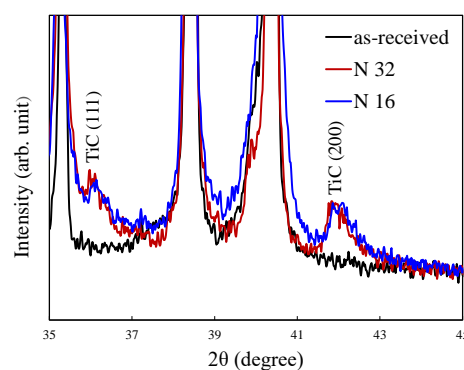


Fig. 6 XRD spectra of uniformly laser irradiated surfaces