

炭化水素液中での短パルスレーザー照射による鉄鋼材料の表面改質

Surface Modification of Steel Using Short Pulse Laser Irradiation in Hydrocarbon Liquid

名工大（学生）*田中 良樹 名工大（正）劉 曉旭 名工大（正）前川 寛

名工大（非）小野 晋吾 名工大（正）糸魚川 文広

Yoshiki Tanaka*, Xiaoxu Liu*, Satoru Maegawa*, Shingo Ono*, Fumihito 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る工業分野において、新しいレーザー援用加工技術は注目を浴びている。特に、短パルスレーザー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、除去作用の殆ど無い表面改質が可能となる。また、最近では小型の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などの表面改質が期待できる¹⁾。

Figure 1 に示す様に、炭化水素液中で短パルスレーザー照射を行うことで、金属表面に炭化物質を合成することが可能である。これは、炭化水素中のレーザープラズマ発生とプラズマ内のラジカル形成による炭素源の供給、炭化水素と金属が加熱されることによる高温状態の形成、急激なレーザープラズマの発生による衝撃力で誘起される高圧状態の形成、以上3つの現象が起こり、局所的な高活性空間を作り出すことで、炭化反応を引き起こしていると考えられる²⁾。

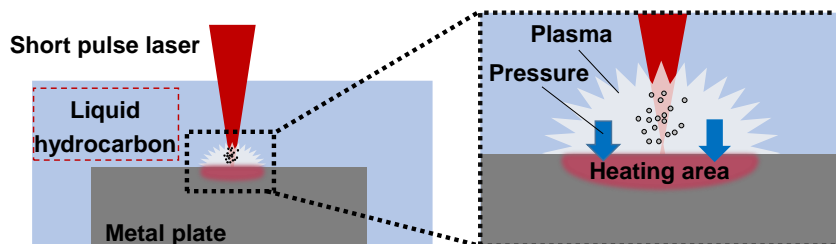


Fig. 1 Schematic diagram of surface carbonization technology by laser irradiation to metal material in hydrocarbon liquid

以上を踏まえて、本研究では炭化水素油中の短パルスレーザー照射によりクロムモリブデン鋼(SCM440)表面に炭素を含む層を作製し、照射面について各種評価を行った結果について報告する。短パルスレーザーには小型で安価なマイクロチップレーザーを用いた。

2. 実験装置及び実験方法

Figure 2 に本研究で使用した液中レーザー照射の実験系模式図を示す。また、使用したレーザーの照射条件を Table 1 に示す。集光には f100mm の平凸レンズを使用した。この時、集光スポットサイズは直径 80mm である。試験片の材料は表面研磨したクロムモリブデン鋼(SCM440)を用いた。自動2軸ステージ上に固定した SCM440 を PAO 油で満たした石英セル中に浸し、Fig. 2 に示すパターンを用いて 10×10 mm の範囲を走査した。この時、走査パターン及び走査速度によって、一点当たりの照射パルス数 N を調整した。作製した表面は XRD 及び微小硬度計による測定を行い、照射面のトライボロジー特性を調べるために、Fig. 3 に示すように油中のボールオンディスク往復摩擦試験を行った。この摩擦試験の実験条件を Table 2 に示す。

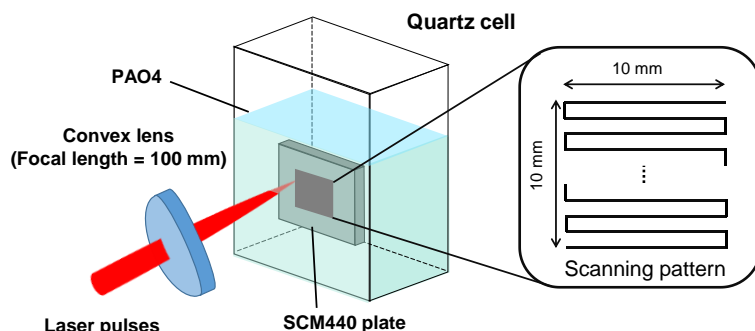


Fig. 2 Schematics of laser irradiation in hydrocarbon liquid

Table 1 Laser irradiation condition	
Wavelength	1064 nm
Pulse width	900 ps
Repetition Frequency	20 Hz
Pulse energy	500 μJ

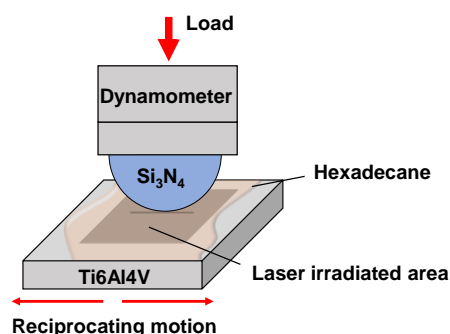


Fig. 3 Schematics of reciprocating friction tester

Table 2 Condition of friction test

Counterpart	F5/16inch SUJ2 ball
Sliding distance	5 mm, 1000 round trips
Applied load	10 N
Lubricant oil	PAO4

3. 実験結果及び考察

レーザー照射前後の SCM440 表面の XRD による測定結果を Fig. 4 に示す。レーザー照射によって新たなピークが検出された。また、レーザー照射前後の表面について、微小硬度計を用いて押し込み硬さを測定した。Figure 5 に示す通り、押し込み硬さはレーザー照射前後でおよそ 1.6 倍に増加した。このことから、炭化水素液中でレーザー照射を行うことで、表面に炭素を含む硬質膜が生成されたと考えられる。Figure 6 は照射前後の表面に対して往復摩擦試験を行った結果である。未照射部では 20 往復目以降は摩擦係数が 0.35 程度となるのに対し、レーザー照射を行った部分は摩擦係数が低くなっており、特に照射パルス数 $N=32$ の場合には 1000 往復後も摩擦低減効果が持続していることが確認できる。このことから、炭化水素中でのレーザー照射によって作製できる表面は、摩擦が小さく耐摩耗性を向上させる効果があると考えられる。

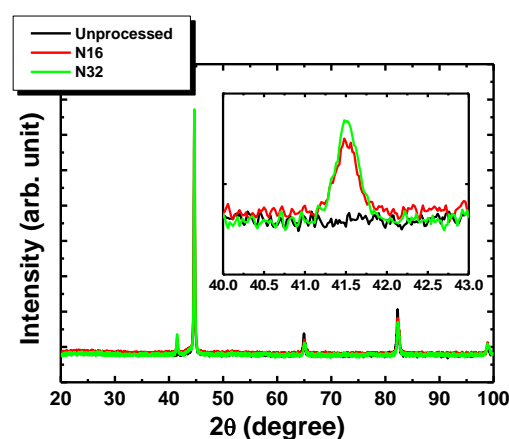


Fig. 4 XRD spectra of SCM440 surface

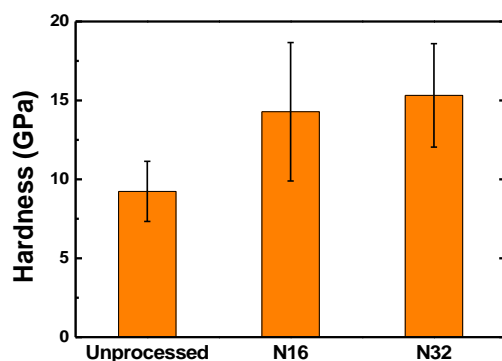


Fig. 5 Hardness of unprocessed and laser processed surfaces

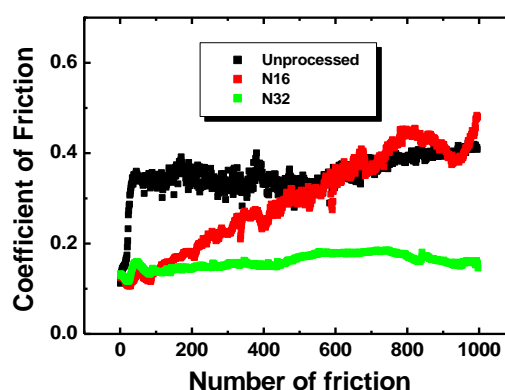


Fig. 6 Friction coefficient of different laser irradiated surface as a friction of number of sliding cycles

4. おわりに

本研究では、小型で工作機械上での表面改質に使用可能なマイクロチップレーザーを用いて、SCM440 表面に PAO 油中照射での表面改質を試みた。XRD 測定及び圧子押し込み試験の結果から、炭化水素中でのレーザー照射によって表面に SCM440 より硬質な、炭素を含む層が作製されたことを確認した。往復摩擦試験では、照射面が 1000 往復以上の耐久性のある低摩擦面となっていることが明らかになった。これらの結果から、炭化水素中でのレーザー照射によって材料表面に炭素を含む層が作製可能であることを確認でき、本手法は工作機械上での表面処理が可能な手法として期待できる。

- 1) X. Liu, Y. Tanaka, S. Fujiwara, S. Maegawa, S. Ono & F Itoigawa: Surface modification of metal surface using pico-second laser irradiation and investigation of its tribological properties, LEM21, 2021, 145
- 2) X. Yu, S. Terakawa, S. Hayashi, T. Asaka, F. Itoigawa, S. Ono & J. Takayanagi: Carbonization of Silicon Nanoparticles via Ablation Induced by Femtosecond Laser Pulses in Hexane, Arabian J. Sci. Eng., 2017, 42, 4221–4226