

パルスレーザーによる金属表面の脱脂

加藤 昌彦*

Degreasing of Materials Surface by Pulse Fiber Laser

Masahiko KATO*

ABSTRACT

To prevent frictional vibration of instrumental panel for automobile, pin on disc type friction tests under various pin loads and sliding speeds were carried out on combination of pins and discs which were prepared from the material of instrumental panel for automobile. Kansei evaluation of specimens was carried out prior to the friction test, and the results showed that the occurrence of the frictional vibration was influenced by the combination of pin and disc. The friction test results showed that the friction coefficient was influenced by sliding speed and pin load. Theoretical analysis result of the frictional vibration test showed that the occurrence of the frictional vibration could be discriminated by the slope of the friction coefficient with respect to sliding speed, and the theoretical discrimination qualitatively agreed with the kansei evaluation.

キーワード：摩擦振動，自動車用インストロメンタルパネル，ピン・オン・ディスク摩擦試験，すべり速度，ピン荷重

Keywords: Frictional vibration, Instrumental panel for automobile, Pin on disc friction test, Sliding speed, Pin load.

1. 緒言

アルミニウムは軽量で切削性に富む金属であるとともに、合金化により高強度化も容易であるため、生産されるアルミニウムの多くは輸送分野で使用されている。軽量・高強度が要求される航空機では従来から使用されているが、近年では省燃費を厳しく要求される自動車においても多用されるようになっている [1, 2].

アルミニウムはボーキサイトから生産する場合、110MJ/kg と多くのエネルギーが必要であるが、再生する場合、ボーキサイトから生産する場合のわずか 3% (3.63MJ/kg) のエネルギーで済むため、リサイクルが一般的となっている。リサイクルでは、アルミを電気溶解して地金に再生される。

リサイクル用アルミニウムの発生場所として輸送器機部品（例えばエンジン）の機械加工で生じる切粉がある。受入材は、脱脂行程、圧縮溶解行程、を経て地金へとリサイクルされる。乾燥された受入材は取り扱い容易にするために圧縮されたのち、電気炉で溶解される。この際乾燥された切削油は不純物となる。その多くは溶湯から分離されるが、一部は溶湯内に溶解する。従って、これが地金の純度悪化の要因となる。リサイクルが繰り返されると不純物が濃化して品質が顕著に悪化する。過剰にリサイクルされたアルミニウムは使用に耐えないので廃棄される。

近年急速に進歩したレーザーは、短時間で金属表面に入熱することにより、金属表面を蒸発させるだけの熱量を投入可能である。従って、レーザーを使用すれば図 1 に示すように表面の油分を蒸発させることにより

*福山大学工学部

完全に脱脂可能であると考えられ、再溶融により不純物の混入を防ぎ、高品位リサイクルが可能になると考えられる。

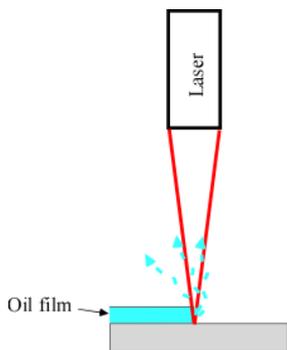


Fig.1 Schematic illustration of laser degreasing.

そこで本研究では、高品位リサイクルのため、脱脂行程において不純物混入の原因となる切削油を、レーザーによる除去脱脂を実現するための基礎的研究を実施するため、各種条件でレーザーを照射し、レーザー照射条件と残留油分の関係を調べた。

2. 実験方法

2. 1 試験片

研究に用いた試験片は、厚さ 0.5mm のステンレス板(SUS304, 化学組成(mass%): C<0.08, Si:1.0, Mn:<2.0, P:0.045, S:<0.03, Ni:9.3, Cr:19.0, Fe:bal.)である。これを 10×10mm に切出し、試験片とした。

試験片表面に水溶性切削油(リライアカット FM10, ENEOS INDUSTRIAL)を秤量して滴下させ、他の試験片で挟むことにより、2枚の試験片に切削油を塗布した。

2. 2 脱脂



Fig.2 Pulse fiber laser.

Table 1 Specification of pulse fiber laser.

Power P (W)	Wave length λ (nm)	Emission bandwidth t_w (ns)	Pulse repetition rate f (kHz)
30	1064	200	1-100
Output beam diameter D (mm)		Focal length F (mm)	
6		160	

脱脂には、外観および仕様を図 2 および表 1 に示すパルスファイバレーザー(YSM30-L, サンインストルメンツ(株)製)を使用した。

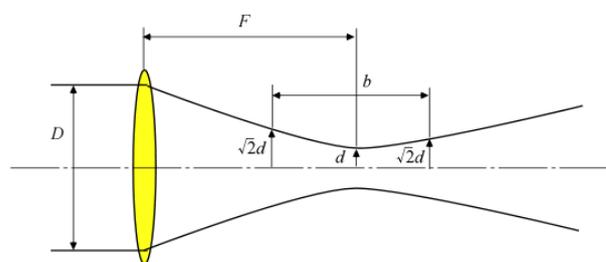


Fig.2 Laser optical path.

図 2 に示すレーザー光路において、スポット径 $2d$ および焦点深度 b は、以下の式で与えられる[3]。

$$2d = \frac{4\lambda F}{\pi D} M^2 \quad (1)$$

$$b = \frac{8\lambda}{\pi} \left(\frac{F}{D}\right)^2 M^2 \quad (2)$$

ここで、 M はビームモードである。本装置の場合 1 に近い値となるので、1 とおくと、 $2d$ および b は、それぞれ、 $36 \mu\text{m}$ および 1.9mm となる。

レーザー脱脂は平均パルス出力 P_{ave} 、スキャン速度 v 、およびスキャンピッチ p を種々に変化させて行った。

2. 3 油分測定

油分の測定には、壤土油分検出キット(SOA-OIL2, (株)共立理化学研究所製)を使用した。「R-1」試験薬 12ml を入れた容器に試験片を入れて軽く縦振とうする。次に 24ml の「R-2」試験薬を加え縦振とうし、容器の内壁に白濁を全て付着させた後試験薬を捨てる。そして白濁が付着したポリビンに試験薬「R-3」を 10ml を加え、壁に付着した白濁を溶かして作製した溶液の濁度 D_{oil} を計測した。

3. 実験結果および考察

3. 1 濁度校正

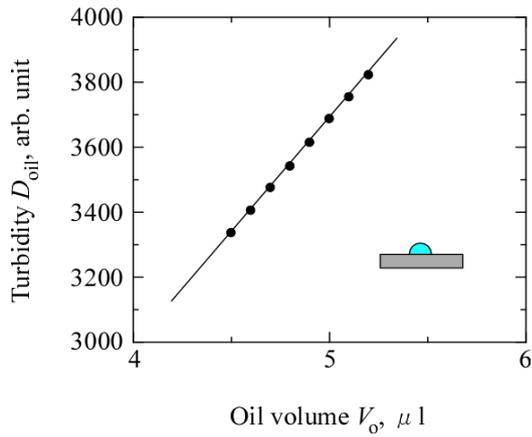


Fig.3 Relationship between oil volume and shading ratio.

油量と油分測定キットで検出される濁度 D_{oil} の関係を調べるため、種々の量 V_o 秤量した切削油の濁度を測定した。その結果を図3に示す。切削油の量と濁度は高い相関で比例し、以下の関係があることがわかる。

$$D_{oil} = 697V_o + 198 \quad (3)$$

次に、種々の量 V_o 秤量した切削油を試験片に滴下したのち、もう一枚の試験片をかさねあわせて表面に切削油が付着した試験片を作成し、それぞれの試験片の濁度を測定した結果を図4に示す。油量と濁度には高い正の相関が認められ、以下の式で表せる。

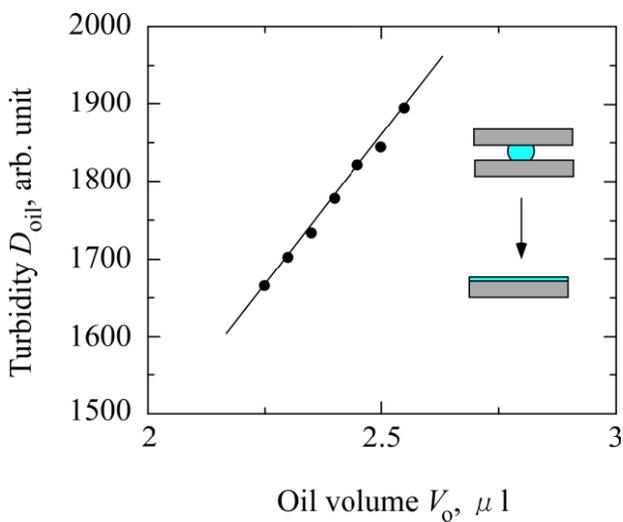


Fig.4 Relationship between oil volume dipped on specimen and shading ratio.

$$D_{oil} = 758V_o + 43.8 \quad (4)$$

式(3)に近い値であり、油分は正しく促成されていると判断できるので、この関係を用いて油量を求めた。

3. 2 レーザ脱脂

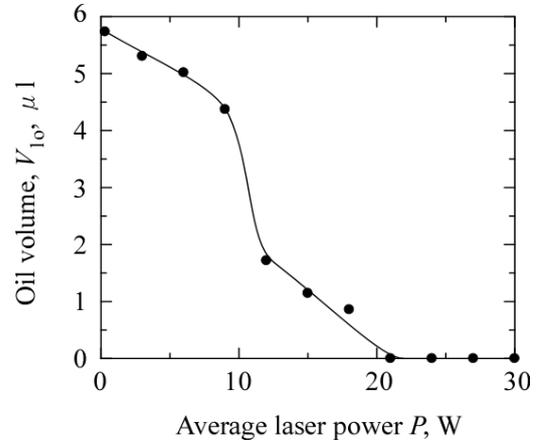


Fig.5 Relationship between Average laser power and oil volume.

切削油を $V_o=2.5 \mu l$ 塗布した試験片に種々の平均レーザー出力 P で照射し、残留油量を求めた結果を図5に示す。レーザー出力の増加とともに残留油量は減少し、レーザー出力が $21W$ で検出されなくなった。このことは、レーザーにより完全な脱脂が可能であることを意味する。

3. 3 平均レーザー密度の検討

図5の横軸には平均レーザー出力を示したが、本研究で使用したレーザーはパルスレーザーであるので、入熱は断続的である。この点を考慮して入熱されるレーザー密度 ρ_{ave} を計算する。

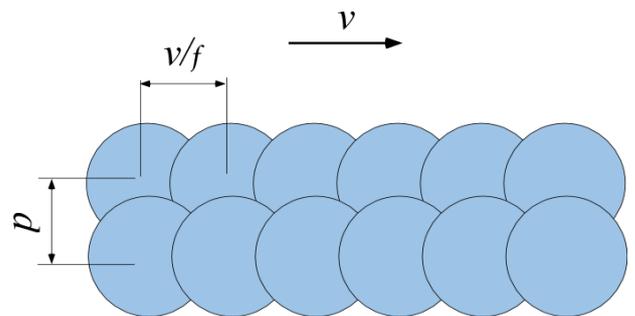


Fig.6 Schematic illustration of laser spot during laser degreasing.

図 6 にレーザクリーニングの際のレーザ照射の様子を模式的に示す。平均パルス出力(1 パルスで出力される平均値) $P_{ave}(=Pt_wf)$, パルス周波数 $f(\text{Hz})$, スポット径 $2d=36\mu\text{m}$ のレーザが, $l=5\times 5\text{mm}$ の領域を, 速度 v , ピッチ p でスキャンされたとする。

照射長さ l_{tot} は,

$$l_{tot} = \frac{l^2}{p} \quad (5)$$

である。照射される延面積 S_1 は,

$$S_1 = 2\pi dl_{tot} = 2\pi d \frac{l^2}{p} \quad (6)$$

となる。

一方, ピッチ方向のオーバーラップ率 R_p およびスキャン方向のオーバーラップ率 R_s は, 幾何学的に

$$R_p = \frac{d^2 \cos^{-1} \frac{p}{2d} - \frac{pd}{2} \sin \cos^{-1} \frac{p}{2d}}{\pi d^2} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{d^2 \cos^{-1} \frac{v}{2df} - \frac{vd}{2f} \sin \cos^{-1} \frac{v}{2df}}{\pi d^2} \quad (8)$$

が得られる。

従って, 試験片に入力される平均レーザ密度 ρ_{ave} は, 単位面積あたり密度にオーバーラップ分増加し,

$$\begin{aligned} \rho_{ave} &= \frac{P_{ave}}{\frac{\pi(2d)^2}{4}} R_p R_s \\ &= \frac{P_{ave}}{\frac{\pi(2d)^2}{4}} \frac{d^2 \cos^{-1} \frac{p}{2d} - \frac{pd}{2} \sin \cos^{-1} \frac{p}{2d}}{\pi d^2} \frac{d^2 \cos^{-1} \frac{v}{2df} - \frac{vd}{2f} \sin \cos^{-1} \frac{v}{2df}}{\pi d^2} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \rho_{ave} &= \frac{P_{ave}}{\pi^3 d^6} \left(d^2 \cos^{-1} \frac{p}{2d} - \frac{pd}{2} \sin \cos^{-1} \frac{p}{2d} \right) \left(d^2 \cos^{-1} \frac{v}{2df} - \frac{vd}{2f} \sin \cos^{-1} \frac{v}{2df} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

が得られる。

式(10)を用いで求めた平均レーザ密度 ρ で図 5 を整理した結果を図 7 に示す。残留油量は平均レーザ密度の増加とともに減少し, 平均レーザ密度が $2 \times 10^{13} \text{W/m}^2$ で完全に除去される。平均レーザ密度 $2 \times 10^{13} \text{W/m}^2$, レーザ照射時間 $t_w=200 \times 10^{-9} \text{s}$ での加工は, 金属を蒸発させることが可能な条件である[3].

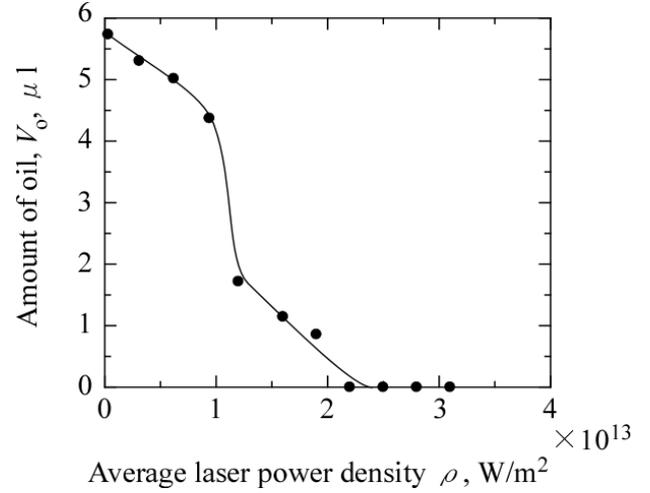


Fig.7 Relationship between Average pulse laser power and oil volume.

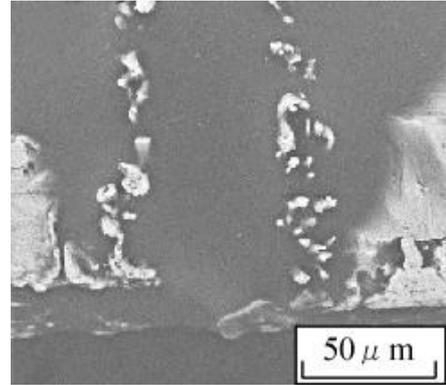


Fig.8 Surface after laser degreasing.

レーザ加工後の表面の例を図 8 に示す。レーザ照射部の金属表面はわずかに除去されていることがわかる。したがって, 本研究での油分除去は, 図 9 に示すように, 油膜を通過して金属表面に照射されたレーザが金属表面を除去加工させることにより達成されている。

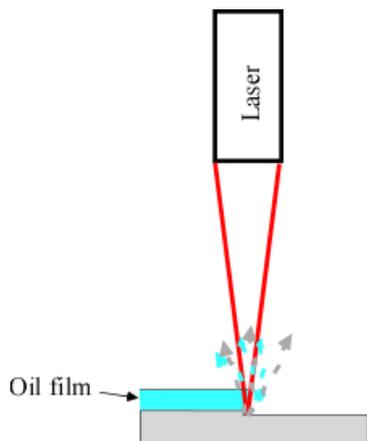


Fig.9 Schematic illustration of laser degreasing.

結言

アルミニウムリサイクルのための新規脱脂法として、パルスファイバレーザによる脱脂を検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 残留油量は土壌油分分析キットにより精度良く定量化可能である。

- (2) 残留油量平均レーザ密度の増加とともに低下し、平均レーザ密度が $2 \times 10^{13} \text{W/m}^2$ で完全に除去される。
- (3) 脱脂は油膜を通過したレーザが金属表面を蒸発除去することにより行われる。

謝辞

本研究は有限会社晟上工業と共同で行ったものであり、研究費や試料の提供をいただいた。また、実験においては、当時の4次年生の中山翔吾君の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 大西忠一：アルミニウム材料のリサイクル環境とその課題，軽金属，46(11)，pp.525-532(1996)。
- [2] 中村崇：アルミニウムのリサイクルプロセス，まてりあ，35(12)，pp.1290-1293(1996)。
- [3] 新井武二：レーザ加工の基礎工学：理論・シミュレーションによる現象から応用まで，丸善出版(2013)。

