

フェムト秒レーザを用いた PTFE および POM 表面へのマイクロチャンネル加工とその表面特性

工学院大学 ○矢部優也, 工学院大学大学院 中村圭佑, 工学院大学 ◎西谷要介, トマスバータ大学 北野武

要旨

本研究では, 新規高分子トライボマテリアルの開発を目的にエンジニアリングプラスチックであるポリテトラフルオロエチレン (PTFE) およびポリアセタール (POM) の表面にフェムト秒レーザを用いたマイクロチャンネル加工およびそのマイクロチャンネル加工を施した PTFE および POM の表面特性を実験的に検討した結果, レンズ径, レーザ出力およびレーザ速度などの加工条件を変更することで溝幅 $10\mu\text{m}$ のマイクロチャンネル溝を付与することに成功し, その表面特性は未加工表面とは異なる傾向を示すことを明らかにした。

1. 緒言

近年, 材料表面にマイクロチャンネル加工を付与することにより材料を高機能化することが注目され, 金属材料などでは摩擦摩耗特性や濡れ性の制御に応用されはじめている¹⁾。一方, 機械材料では軽量性, 高比強度および加工の容易さなどの視点からエンジニアリングプラスチック (エンブラ) をはじめとした高分子材料も多く用いられているが, 表面微細加工による機能付与はあまり検討された事例が少ないのが現状である。筆者らの研究室では, これまでもフェムト秒レーザを用いた高分子材料の微細加工に関する検討や, 微細加工を施した高分子材料の表面特性について様々な検討をしてきた^{2,3)}。その結果, 高分子材料表面にマイクロチャンネルを付与することで濡れ性および摩擦特性などの表面特性を制御できることを明らかにしてきた。ただし, これまでの検討においては, マイクロチャンネルは溝幅 $20\mu\text{m}$ および溝深さ $10\mu\text{m}$ 程度までしか加工ができておらず, 更なる表面特性を制御するためには, より微細なマイクロチャンネル加工が求められる。

本研究では, 新規高分子トライボマテリアルの開発を目的とし, ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) およびポリアセタール (POM) 表面へのフェムト秒レーザを用いたマイクロチャンネル加工において更なる微細化のための加工条件を検討するとともに, そのマイクロチャンネルを施した PTFE および POM の表面特性について実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験方法

本研究で使用した材料は市販のポリテトラフルオロエチレン (PTFE, フロン工業 (株), F-8035-04) およびポリアセタール (POM, ポリプラスチック (株), M90-44) である。PTFE はあらかじめ厚さ 3mm のシート状に加工されており, $30\text{mm}\times 30\text{mm}\times 3\text{mm}$ に機械加工により切断したものをを使用した。POM は, 真空乾燥機により $80^\circ\text{C}\times 4\text{h}$ の条件で乾燥したのち, 二軸押出機 ((株) 日本製鋼所, TEX-30) による熔融混練後, 射出成形機 (日精樹脂工業 (株), NS20-A) を用いて, $30\text{mm}\times 30\text{mm}\times 3\text{mm}$ の試験片を射出成形し,

Table 1 Laser processing parameter for PTFE and POM

波長 λ	800nm
パルス幅 T	190fs
周波数 f_r	1kHz
レーザ出力 P	0.001 W
送り速度 v	15mm/min
レンズ径 d	9mm
ビーム品質係数 M^2	2
焦点距離 f_o	10.0mm
溝間隔 G	$50\mu\text{m}$

レーザ加工用試料とした。試料表面へのマイクロチャンネル加工は中央部の幅 $3\text{mm}\times$ 長さ 25mm の範囲において長手方向と平行に加工した。マイクロチャンネル加工はフェムト秒レーザ (サイバーレーザー (株), IFRIT) を用いて付与した。Table 1 に加工条件を示す。加工後に形成された溝形状はレーザマイクロスコープ (キーエンス (株), VK-X200) により観察した。表面特性としては濡れ性および摩擦特性を評価した。濡れ性は, 接触角計 (メイワフォーシス (株), Phoenix-300) を用いた。接触角測定には, 純水 $5\mu\text{l}$ を滴下し, 後方から LED 光を当て CCD カメラにて材料と液滴の界面の角度を解析することにより求めた。また, 摩擦特性は往復動型すべり摩耗試験機 (新東科学 (株), HEIDON TYPE38) を用いたボールオンプレート型すべり摩耗試験により油潤滑下において評価した。相手材としては SUJ2 ボール ($\phi 2.5\text{mm}$) を用い, すべり速度 v を 1mm/s , 荷重 P を 0.2N , およびすべり距離 L を 300mm とした。これらの試験は 5ml のオイル中 (信越化学工業株式会社, KF-96-100cs) に試験片および相手材を浸漬させた雰囲気下で行った。

3. 実験結果と考察

Table 1 に示す加工条件により PTFE および POM 表面にフェムト秒レーザを用いてマイクロチャンネル加工を施したものをレーザマイクロスコープにより観察した結果, および断面プロファイルを Fig.1 に示す。Fig.1(a)は PTFE および Fig.1(b)は POM である。さらにその加工像からマイクロチャンネルの溝幅 W_M および溝深

さ D_M を測定した結果を Table 2 に示す. 本加工条件で加工すると W_M が $10\mu\text{m}$ 程度, また D_M は $5\mu\text{m}$ 程度のマイクロチャンネルが加工できることがわかる. ただし, W_M および D_M とも PTFE および POM とともに同条件で加工したにも関わらず, PTFE の方が W_M および D_M ともに小さくなり微細な加工が行われている.

次に, マイクロチャンネル加工後の PTFE および POM の表面特性について論じる. Fig.2 に PTFE および POM の接触角を示す. 未加工の PTFE は 106° に対して加工後の PTFE は 131° を示すのに対し, 未加工の POM は 85° に対して加工後の POM は 71° を示し, 正反対の傾向を示す. 一般に接触角が 90° 以上では撥水性, 一方 90° 以下では親水性を示す⁴⁾. つまり, マイクロチャンネル加工を施すことにより PTFE はより撥水性が強くなるのに対し, POM はより親水性が強くなる傾向を示す. これらはマイクロチャンネル加工付与により材料が有する特性をより顕著に表すためと考えられる.

もう一つの表面特性として摩擦特性を評価した結果を論じる. 未加工および加工後の PTFE および POM の摩擦係数 μ およびすべり距離 L の関係を Fig.3 に示す. μ は未加工の PTFE を除き, 試験開始直後においては高い μ を示すものの, L の増加に伴い低下し, しゅう動距離 150mm 以降からは安定することが認められる. また加工の有無を問わず PTFE は POM よりも低い μ を示す. さらに, どちらの材料もマイクロチャンネル加工を施すことにより未加工よりも高い μ を示す. これはマイクロチャンネル加工によりしゅう動メカニズムが変化するためと考えられる.

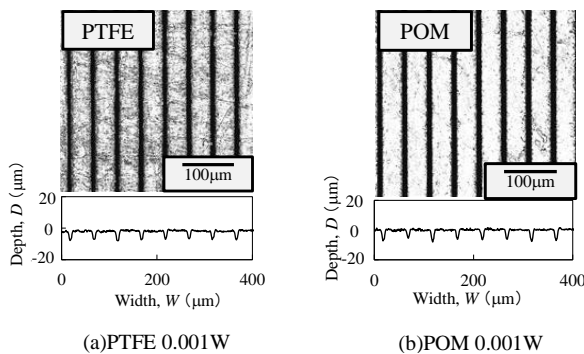


Fig.1 Laser microscope photographs of microchannels on the PTFE and POM (x20)

Table 2 The microchannel width and depth of PTFE and POM

材料	出力(W)	溝幅(μm)	溝深さ(μm)
PTFE	0.001	9.10	4.19
POM	0.001	11.21	5.20

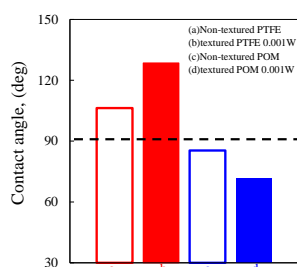


Fig.2 Relationship between the non-textured and textured and the contact angle of PTFE and POM

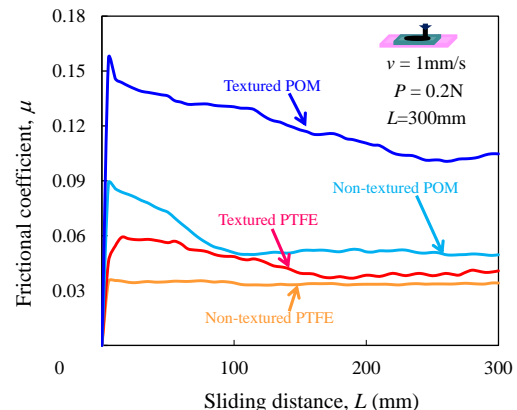


Fig.3 μ - L curves of PTFE and POM

4. 結言

本研究では, 新規高分子トライボマテリアルの開発を目的としポリテトラフルオロエチレン (PTFE) およびポリアセタール (POM) 表面へのフェムト秒レーザを用いたマイクロチャンネル加工において更なる微細化のための加工条件を検討するとともに, そのマイクロチャンネルを施した PTFE および POM の表面特性について実験的に検討した結果から以下の知見を得た.

- (1)加工条件により PTFE および POM に幅 $10\mu\text{m}$ および深さ $5\mu\text{m}$ 程度のマイクロチャンネル加工が可能なること.
- (2)濡れ性では, マイクロチャンネル加工を施すことで撥水性の強い PTFE では撥水性がさらに強くなるのに対し, POM ではさらに親水性が強くなること.
- (3)マイクロチャンネル加工を施すことにより PTFE および POM では摩擦係数が上昇すること.

謝辞

本研究の一部は工学院大学総合研究所機能表面研究センター (FMS, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, MEXT) の援助を受けたものであり, 関係各位に謝意を示します.

参考文献

1. 沢田博司, 二宮孝文, 野口俊司, 川原公介, トライボロジスト, Vol.55, 3, 192-199 (2010)
2. N. Naruse, Y. Nisitani, T. Kitao, ISF2014, PGI-44 (2014)
3. 成瀬徳紀, 中村圭佑, 西谷要介, 北野武, 精密工学会大会学術講演論文集, Vol.2015, M61(2015)
4. 辻井薫, 超撥水と超親水, p. 36-44 (2009) 産業図書