

微小振動援用切削テクスチャ表面のなじみ特性に関する検討（第8報） — グラファイトによる固体潤滑 —

Examination on Running-in Characteristics of Textured Surface by Microvibration-assisted Cutting (8th Report) - Solid Lubrication with Graphite -

茨城大・工（正）*清水 淳 茨城大・院（非）國丹 魁人 茨城大・工（非）山本 武幸

茨城大・工（非）小貫 哲平 茨城大・工（非）尾崎 裕隆

Jun Shimizu*, Kaito Kunitan**, Takeyuki Yamamoto*, Teppei Onuki*, Hiroataka Ojima*

*College of Engineering, Ibaraki University, **Graduate School, Ibaraki University

1. はじめに

相対すべりによるしゅう動面において、なじみ状態に早期に到達させた後、低く安定した摩擦係数による良好な潤滑状態を得ることが重要である。そのような良好な表面を得る一手法として、工作機械の案内面などに適用されている、きさげ加工が有名であるが、それはプラトー構造表面を得る一種の表面テクスチャ加工である。表面テクスチャによるトライボロジー特性向上の期待は高いが、これまでのテクスチャ表面の製造手法は、効率性や微細性といった観点からレーザ加工¹⁾²⁾が主流になっている。一方、切削に代表される機械加工は、比較的単純かつ安価な加工手法であるが、きさげやプラトーホーニングなどを除けば、テクスチャ表面製造への適用例³⁾は少ない。

著者らの一部⁴⁾は、微小硬度試験用の単結晶ダイヤモンド圧子を工具とし、それを切込み深さ方向に微小振動させつつ振動援用切削することで表面テクスチャを製造し、まず酸化チタン表面の光触媒機能が向上できることを示した。そしてそれをトライボロジー表面へ展開し、黄銅の乾式すべりにおける摩擦やなじみ特性の向上に対し、開発したテクスチャ表面が効果的であることなどを明らかにしてきた⁵⁾⁶⁾。本報では、微小振動援用切削を用いて A6061 平板上に表面テクスチャを製造した後、グラファイト粉末を塗布し、比較的低すべり速度においてボール・オン・プレートしゅう動試験を試み、固体潤滑特性を調べた結果を報告する。

2. 微小振動援用切削による表面テクスチャの製造手法

表面テクスチャの製造⁴⁾には、X, Z, C 軸に NC 制御可能な精密 3 軸同時制御加工装置に、Fast Tool Servo（以降 FTS と略記）を搭載したものを利用する。参考のため Fig. 1 に加工ヘッド部を示す。微小振動援用切削では、精密 3 軸同時制御加工装置の C 軸回転と X 軸送りの同時制御に FTS による微小振動（Z 軸方向）を組み合わせて工具軌跡を制御しながら真空チャックに固定した金属板を正面切削することにより、正弦波状に切込みが変化する圧痕状の切削痕を創成する。これにより、表面に周期が一般的なテクスチャパターンを創成する。寸法・周期ともに μm オーダで変化する切削痕によるテクスチャを創成したいため、工具には微小硬度計に用いられる鋭利な先端（初期先端半径 100 nm）を持つ三角錐形状の単結晶ダイヤモンド圧子を用いる。工作物（すべり試験片）は、アルミニウム合金（A6061）板とする。

いずれのテクスチャ表面とも、オンマシんでさらに微小切削（テクスチャ製造前の鏡面を準備した場合と同様な微小切削条件を利用）することにより、凹凸周囲の塑性盛り（ばり）を除去している。

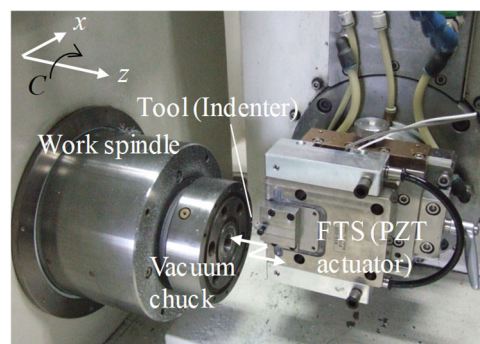


Fig. 1 Head part of machining system

3. グラファイト固体潤滑すべり試験の概要

市販のボール・オン・プレート試験装置（回転テーブル式）を用い、すべり試験を実施する。垂直荷重はおもりで与え、摩擦力はロードセルで計測する。すべり試験条件を Table 1 に示す。SUJ2 鋼球によりテクスチャ加工しグラファイト粉末を塗布した A6061 試料をすべり試験する。すべり速度は、装置上で最低回転速度に相当する 57 mm/s とし、荷重は A6061 合金が降伏するか否かの臨界程度の荷重を採用し、30 分間すべり試験する。固体潤滑剤は、グラファイト粉末をエタノールに 10 g/L で投入し攪拌した後、しゅう動部に 200 μL 滴下して延ばした後、乾燥させ準備する。

4. 微小振動援用切削による表面テクスチャの創成結果とすべり試験結果および考察

Fig. 2 は、A6061 試料平面上に製造したテクスチャパターンのレーザ顕微鏡観察結果である。テクスチャの面積密度は、(a)0%（比較用の鏡面）、(b)9.4%、(c)13.5%となっている。(b)と(c)におけるディンプル状パターンの深さは約 9 μm

Table 1 Conditions for ball-on-plate sliding test

Lubricant	Ball	Sample	Sliding speed, mm/s	Load, N	Temp., °C	Sliding time, min
Graphite ($\phi 5 \sim 11 \mu\text{m}$)	SUJ2 ($\phi 10$)	A6061	57	2.94	20	30

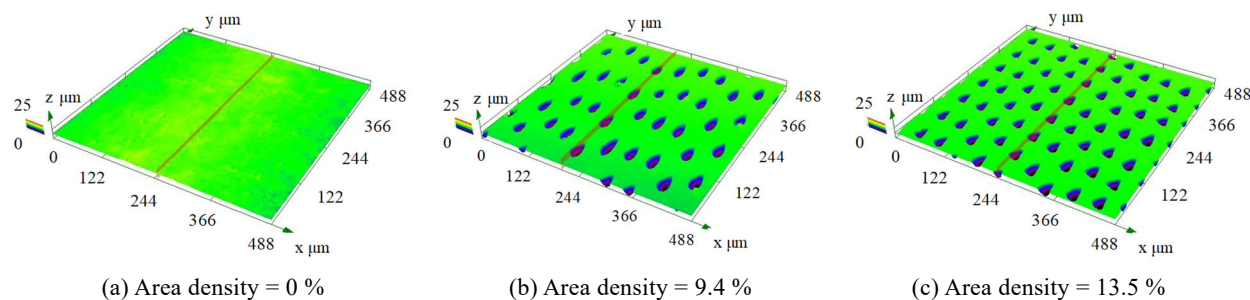


Fig. 2 Bird's-eye images of textured surfaces

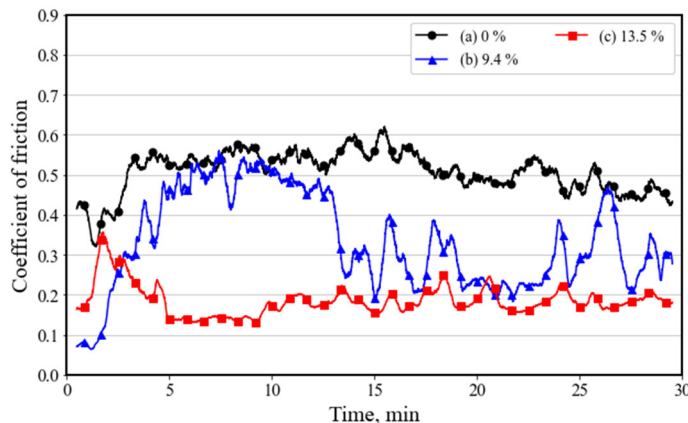


Fig. 3 Change of coefficient of friction over time

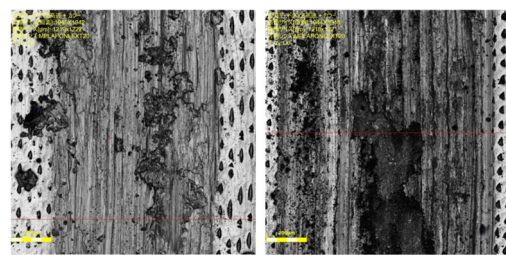


Fig. 4 Comparison of wear track

で入口部分の幅は $30\text{ }\mu\text{m}$ 程度となっており、グラファイト粒子（径 $5\sim 11\text{ }\mu\text{m}$ ）を十分にトラップできるようになっている。また、Fig. 2 の結果より、工具送りと切削速度ないし振動周波数を変化させて加工することにより、所望の面積密度でテクスチャ

表面を創成できることがわかる。

Fig. 3 は、Fig. 2 に示した各表面にグラファイト粉末溶液を塗布・乾燥させた後、すべり試験した際の摩擦係数の経時変化の比較である。Fig. 3 から、3 分程度までを除き、テクスチャの面積密度が高くなるにつれ、摩擦係数は低くなる様子が把握できる。とくに、(c) の 13.5% の場合、5 分まで初期摩耗により比較的に高い摩擦係数を示すものの、それ以降は減少し 5 分でなじみ状態に至り 0.13 程度の低い値を示す。その後の摩擦係数も 0.2 未満程度の低い値を保っている。対して、(b) の 9.4% の場合は、13 分程度を要して(c) に比べ高い 0.3 程度の摩擦係数でなじみ状態に至っている。一方、(a) の 0% に至っては、(c) に比べ 3 倍程度も高い 0.5 前後の摩擦係数で推移し、固体潤滑の効果は確認できない。

固体潤滑膜の状態を把握するため、Fig. 4 に面積密度が(a)9.4%と(b)13.5%の場合について、すべり試験後の摩耗痕のレーザ顕微鏡観察結果（実体像）を比較して示す。(a) に比べ、面積密度が高い(b)13.5%において、グラファイト粒子の存在を示す黒色の領域が広がっており、グラファイト固体潤滑膜が摩耗痕内に多く形成・保持されている様子がわかる。この結果から、ディンプル状のテクスチャにグラファイト粒子が入りこみ、それがすべり試験過程において効率的に接触領域に排出されて固体潤滑膜を維持することにより、低摩擦が発現したものと考えられる。

5. おわりに

微小振動援用切削で製造した表面テクスチャのグラファイト固体潤滑効果を調べるため、A6061 平板上に深さ数 μm の凹パターンが周期的に配置された面積密度の異なる複数のテクスチャ表面を創成してグラファイト粉末溶液を塗布・乾燥させた後、すべり試験を試みた。その結果、過密すぎないテクスチャの面積密度の範囲では、面積密度が高くなるにつれ、なじみが早く発現し、摩擦係数も低くなることが明らかになったとともに、提案したテクスチャ製造方法がグラファイト固体潤滑に対しても有効なことが明示された。

文 献

- 1) F. Klocke, O. Auer, A. Zaboklicki: Laser structuring reduces friction and wear, *Prod. Eng.*, 2, (1998) 31.
- 2) X. L. Wang, K. Kato, K. Adachi, K. Aizawa: The effect of laser texturing of SiC surface on the critical load for transition of water lubrication mode from hydrodynamic to mixed, *Tribol. Int.* 34, (2001) 703.
- 3) H. Usami, T. Sato, Y. Kanda, S. Nishio: Applicability of interrupted micro cutting process, "Tiling" as surface texturing, *Key Eng. Mat.*, 749, (2017) 241.
- 4) J. Shimizu, G. Kobayashi, N. Hasegawa, T. Yamamoto, H. Ojima, T. Onuki, L. Zhou: Influence of surface micro texture on photocatalytic function of titanium dioxide film, *Materials Science Forum*, 706-709, (2012) 2646.
- 5) J. Shimizu, T. Nakayama, K. Watanabe, T. Yamamoto, T. Onuki, H. Ojima, L. Zhou: Friction characteristics of mechanically microtextured metal surface in dry sliding, *Tribol. Int.*, 149 (2020) 105634.
- 6) 清水・山本・金子・周・小貫・尾畠: 振動援用切削でテクスチャ加工した圧痕状パターン周期配置型金属面の乾式すべり特性, *砥粒加工学会誌*, 67, (2023) 218.