

## 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7報） ーテクスチャ面積密度と境界潤滑ー

### Examination on Running-in Characteristics of Textured Surface by Microvibration-assisted Cutting (7th Report) - Textured Area Density and Boundary Lubrication -

茨城大・工（正）\*清水 淳 茨城大・院（非）小坪 琉太 茨城大・工（非）山本 武幸

茨城大・工（非）金子 和暉 茨城大・工（非）小貫 哲平 茨城大・工（非）尾畠 裕隆

Jun Shimizu\*, Ryuta Koakutsu\*\*, Takeyuki Yamamoto\*, Kazuki Kaneko\*, Teppei Onuki\*, Hiroataka Ojima\*

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

#### 1. はじめに

しゅう動面において、なじみ状態に到達させた後、摩擦が低く安定した状態を継続することが重要である。そのため技術の一つに、表面テクスチャリングがあり、それによるトライボロジー特性向上への期待は高まっている。これまでの研究におけるテクスチャの製造手法は、効率性や微細性といった観点からレーザ加工<sup>1),2)</sup>が主流となっている。一方、切削に代表される機械加工の適用<sup>3)</sup>は、きさげやプラトーホーニングなどを除けば少ない状況にある。

著者らの一部<sup>4),5)</sup>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黄銅平板を振動援用切削することで表面テクスチャを製造し、その乾式すべりにおける摩擦やなじみ特性がテクスチャの面積密度が高くなるほど向上することなどを明らかにしてきた。本報では、アルミニウム合金に対し同様に微小振動援用切削によって表面テクスチャを製造した後、潤滑油を滴下し比較的低速なすべり速度領域において速度を変化させつつしゅう動試験し、境界潤滑域におけるテクスチャの性能を検討した結果について報告する。

#### 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<sup>4)</sup>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 (FTS) 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。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正面切削することにより、正弦波状に切込みが変化する切削痕を創成する。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  $\mu\text{m}$  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 (摩擦試料) は、アルミニウム合金 (A6061) 板とする。なお、いずれのテクスチャ表面とも、オンマシンでさらに微小切削 (鏡面切削) することにより、凹凸周囲の塑性盛り (バリ) を除去する。

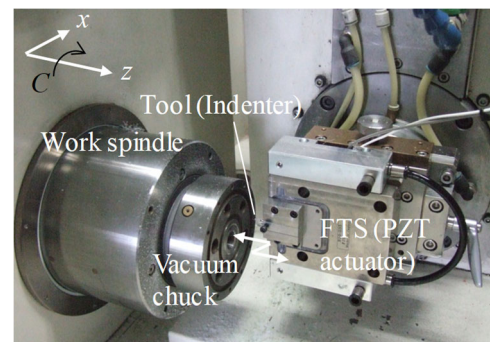


Fig. 1 Head part of machining system

#### 3. 湿式すべり試験の概要

ボール・オン・プレート試験装置を用い、湿式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方式である。すべり試験条件を Table 1 に示す。SUJ2 鋼球によりアルミニウム合金試料をすべり摩擦する。潤滑油として、市販の SAE: 5W-30(SM)エンジンオイルを用いる。すべり試験では、すべり速度の影響をみる初期の検討として、各テクスチャ面積密度の試料に対し、0.2~2.4 m/s の間で 0.2 m/s ずつすべり速度を上昇させ、かつ各すべり速度において、1.96, 2.94, 3.96 N の順に荷重を上げていくという試験方法を採用する。各条件におけるすべり距離は 50 m とする。

#### 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湿式すべり試験結果および考察

Fig. 2 は、Al6061 試料平面上に製造したテクスチャのレーザ顕微鏡観察結果である。ここでは、くぼみ (深さ 7~8  $\mu\text{m}$ ) パターンで面積密度がそれぞれ (a) 6.7 %, (b) 19.1 %, (c) 35.9 % となっている。この結果より、工具送りおよび切削速度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、テクスチャの面積密度 19.1 %, 荷重 3.92 N における摩擦係数とすべり速度の関係性を調べた結果である。Fig. 3 から、すべり速度が上昇するにつれ摩擦係数は減少し、境界潤滑から混合潤滑に遷移する様子がわかる。

Table 1 Conditions for ball on plate sliding test

Environment	Ball	Sample	Sliding speed, m/s	Load, N	Temperature, °C	Sliding distance, m
Wet (5 $\mu\text{l}$ )	SUJ2 ( $\phi 10$ )	A6061	0.2 - 2.4	1.96 - 3.92	20	50

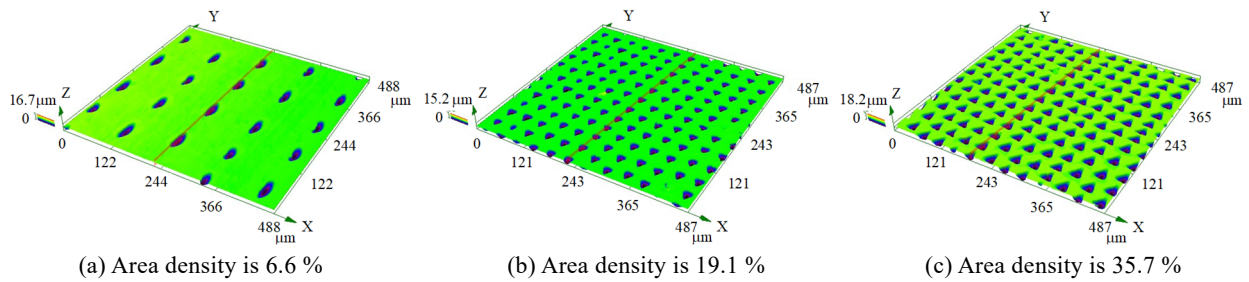


Fig. 2 Bird's-eye images of textured surfaces

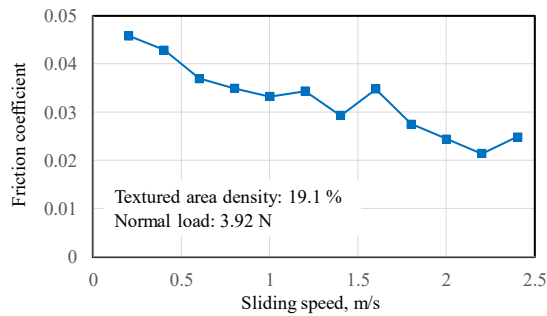


Fig. 3 Friction coefficient vs. sliding speed

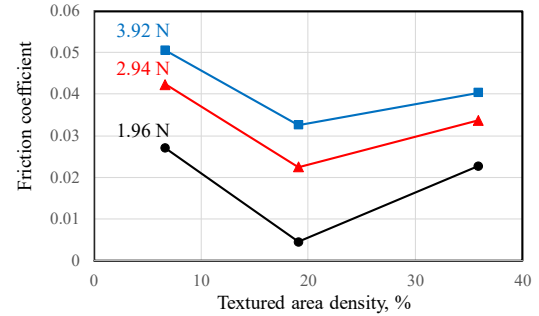


Fig. 4 Friction coefficient vs. textured area density

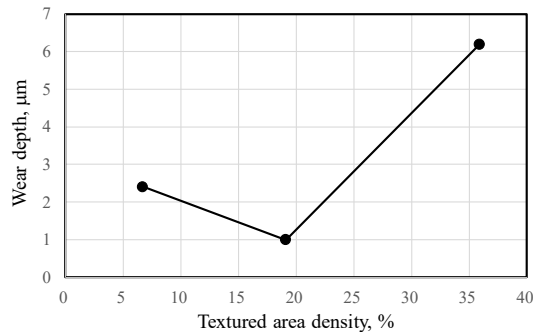


Fig. 5 Wear depth vs. textured area density

Fig. 4 は、Fig. 3 で示したような、あるテクスチャの面積密度と荷重の組み合わせにおける摩擦係数とすべり速度の試験結果について、摩擦係数の平均値を求め、テクスチャの面積密度と荷重がその平均の摩擦係数に及ぼす影響を調べた結果である。この結果から、テクスチャの面積密度によらず、荷重の増大に伴い摩擦係数は増大し、これが荷重の増大に伴う潤滑膜厚の低下からくるという典型的な湿式すべりの特性を示している様子が確認できる。一方、テクスチャの面積密度が中間的な値の 19.1 % の場合における摩擦係数は、荷重によらず最小となるのに対し、面積密度がそれ未満でもそれを超過しても、摩擦係数は大きくなるという傾向を示している。

Fig. 5 は、一連のすべり試験を終えた後の、摩耗深さをレーザ顕微鏡計測から求めた結果である。Fig. 4 に示した摩擦係数の傾向と同様に、摩耗深さもテクスチャの面積密度が中間的な値の 19.1 % の場合に、荷重によらず最小となるのに対し、面積密度がそれ未満でもそれを超過しても、摩耗深さは大きくなるという傾向を示している。

以上の結果から、テクスチャの面積密度が低くても、固体同士の接触面積の増大に伴う凝着の増大や、摩耗粒子の成長を阻害する摩耗粒子の一時トラップの効果は小さくなることから、摩擦係数は増大してしまうものと考えられる。一方、テクスチャの面積密度が高すぎると、接触面の降伏強度は低下し、比較的容易に凝着摩耗を促進してしまうものと考えられる。よって、試料金属の降伏を促進しない荷重の範囲で、上述のようなデメリットを最小化するような、テクスチャの面積密度が存在するものと考えられる。

## 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潤滑効果を調べるため、湿式すべり試験により、Al6061 平板上に深さ数  $\mu\text{m}$  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に対する境界から混合潤滑領域における特性を調べた。その結果、本報における荷重条件下では、テクスチャの面積密度が 19.1 % 程度において摩擦係数および摩耗は最小となり、それ未満およびそれを超過すると、摩擦係数および摩耗は増大することがわかった。

## 文献

- 1) F. Klocke, O. Auer, A. Zabacklicki: 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, 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.
- 5) 清水・山本・金子・周・小貫・尾崎: 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.