

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6報） —乾式すべりにおける摩擦・摩耗挙動—

Examination on Running-in Characteristics of Textured Surface by Microvibration-assisted Cutting (6th Report) - Friction and Wear Behavior in Dry Sliding -

茨城大・工（正）*清水 淳 茨城大・工（非）山本 武幸 茨城大・工（非）金子 和暉

茨城大・工（非）周 立波 茨城大・工（非）小貫 哲平 茨城大・工（非）尾嶌 裕隆

Jun Shimizu, Takeyuki Yamamoto, Kazuki Kaneko, Libo Zhou, Teppei Onuki, Hirotaka Ojima

College of Engineering, Ibaraki University

1. はじめに

しうう動面にテクスチャを導入し、摩擦・摩耗を低減させたり¹⁾、なじみを促進させたりする²⁾検討がなされ、その有用性が明らかにされている。近年の表面テクスチャの製造手法は、効率性や微細性からレーザ加工^{1,2)}が主流であり、切削に代表される機械加工は、きさげやプラトーホーニング、タイリング加工³⁾などを除き、検討例は稀である。加工工具の微小化の限界やテクスチャリング後のバリの除去といった課題があるものと考えられる。

著者らの一部⁴⁾は、三角錐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振動援用切削することで黄銅上に微小なくぼみパターンの周期的配置によるテクスチャを製造し、乾式すべり摩擦やなじみ特性向上にテクスチャが大きく貢献できることを明らかにしている。本報では、摩擦特性向上に有効とみられるテクスチャの面積密度が比較的高い場合を対象に、バリの有無やパターンの容積がすべり摩擦・摩耗挙動に及ぼす影響を調べた。

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には、X, Z, C 軸に NC 制御可能な精密 3 軸同時制御加工機に Fast Tool Servo (以降 FTS) を搭載したものを用いる。Fig. 1 に加工ヘッド部を示す。振動援用切削では、加工機の 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、表面に周期が一様なくぼみ状の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 (摩擦試料) は、黄銅 (c2680) 板とする。

なお、テクスチャ表面は、オノマシンでさらに微小切削 (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、凹凸周囲のバリ (塑性盛上り) を除去できる。

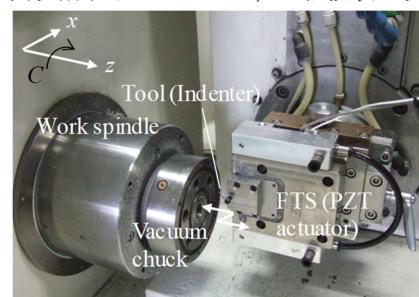


Fig. 1 Head part of machining system

3. 乾式すべり試験の概要

回転テーブル式のボール・オン・プレート試験装置を用い、乾式すべり試験を試みる。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。試験条件を Table 1 に示す。SUJ2 鋼球により黄銅試料をすべり試験する。荷重は黄銅の理想平面がヘルツ接触時に十分降伏しない 0.5 N とし、しうう動時間を 60 分 (すべり距離 1620 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乾式すべり試験結果および考察

Fig. 2 は、テクスチャ表面のレーザ顕微鏡観察結果である。これまでの検討⁶⁾で乾式すべり特性に優れるとされた、テクスチャ面積密度 40%について、(a)小容積 (バリあり), (b)小容積 (バリなし), (c)大容積 (バリなし) のテクスチ

Table 1 Conditions for ball on plate sliding test

Environment	Ball	Sample	Sliding speed (m/s)	Load (N)	Temperature (°C)	Humidity (%)
Dry	SUJ2 ($\phi 10$)	c2680	0.45	0.5	23	69 ((a),(b)), 20 ((c))

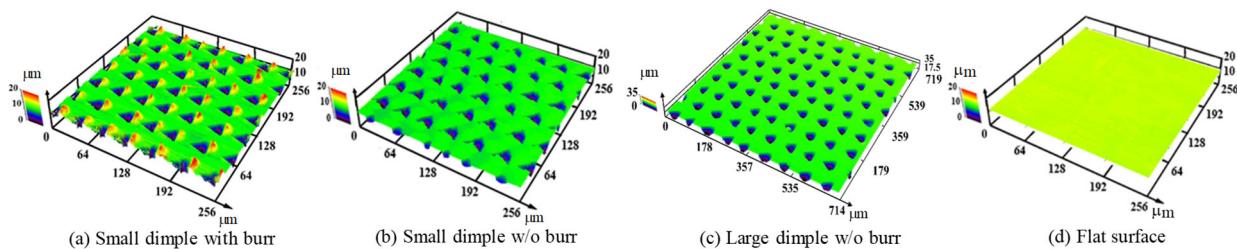


Fig. 2 Three dimensional images of textured surfaces measured by laser microscope

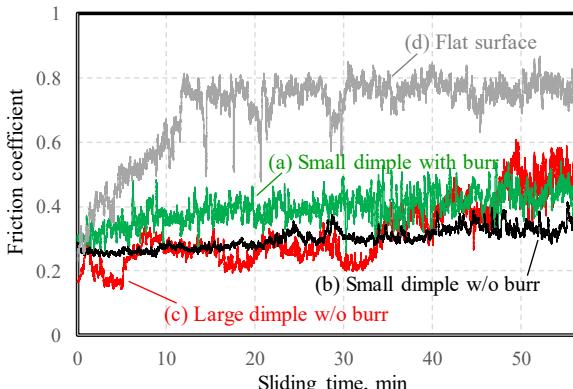


Fig. 3 Time evolution of friction coefficient

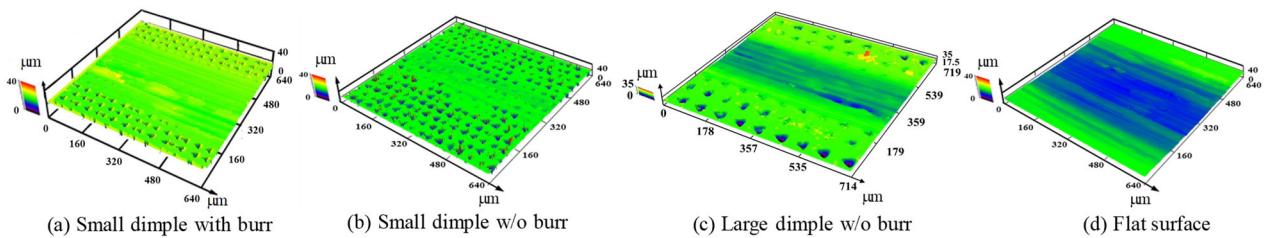


Fig. 4 Comparison result of wear track

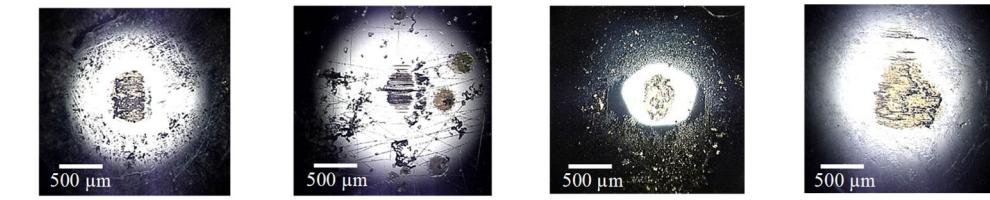


Fig. 5 Comparison result of wear state of the ball

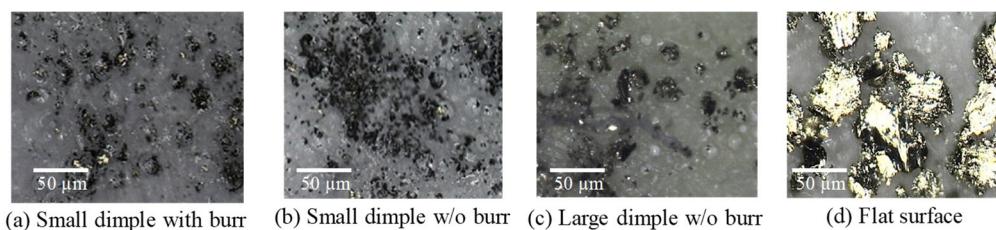


Fig. 6 Comparison result of wear particle

ら摩耗しやすくなり、すべり初期から摩擦係数は変動し30分以降では上昇に転じている(Fig. 3(c)参照)。くぼみパターンは消滅し摩耗痕も深く(Fig. 4(c)参照)、ボールへの凝着も比較的大きく(Fig. 5(c)参照)、摩耗粒子も比較的に大きくなる(Fig. 6(c)参照)。

5. おわりに

微小振動援用切削で製造した面積密度が比較的高いテクスチャ表面の乾式すべり摩擦・摩耗挙動を調べた。摩擦係数の経時変化や摩耗痕および摩耗粒子の比較評価の結果、40%というテクスチャの面積密度が比較的に高い表面では、容積が比較的に小さいくぼみパターンを用い、かつくぼみ周囲のバリをオンマシン微小切削で除去した方が、摩擦・摩耗とともに低くなるとともに、早期になじみ状態へ到達できることが明らかになった。

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, 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) N. P. Suh & N. Saka: Surface engineering, *Ann. CIRP*, 36, (1987) 403.

ヤ表面を対象とした。くぼみの深さは(a)と(b)で7~8 μm程度、(c)で15 μm程度である。(d)は比較のための平面試料である。

Fig. 3に摩擦係数の経時変化を、Fig. 4に摩耗痕、Fig. 5にSUJ2ボールの摩耗形態、Fig. 6に摩耗粒子の比較結果を示す。

Fig. 3より、(a)~(c)のテクスチャありの場合、(d)の平面に比べ摩擦係数は小さいことがわかる。これは、Fig. 4~6の摩耗全般の比較結果からもよく理解できる。そして、Fig. 3(b)の小容積(バリなし)では、すべり当初から0.3未満の低い摩擦係数を示し、かつ変動も微小で、おおむねなじみ状態に達している様子がわかる。これは、Fig. 4(b)において、摩耗痕にくぼみが残存し摩耗粒子の捕捉⁵⁾が効いていること、Fig. 5(b)のボールの摩耗面積が最小であること、Fig. 6(b)の摩耗粒子が黒く酸化し最も小さくマイルド摩耗を示していることからも理解できる。

一方、(a)の小容積(バリあり)では、バリが優先的に摩耗する分摩耗が大きくなり、くぼみは消滅し(Fig. 4(a)参照)、ボールへの凝着も大きくなり(Fig. 5(a)参照)、摩耗粒子も比較的に大きくなる

(Fig. 6(a)参照)。結果、(c)より摩擦係数は大きい(Fig. 3(a)参照)。

(c)の大容積(バリなし)では、くぼみが大きいため、荷重を支持する平坦部の強度が相対的に低くなる影響か