

配列された突起群から構成されるテクスチャの摩擦特性

Friction properties of textured surface consisting of aligned bumps

名城大・理工（学）*石本 晟也 名城大・理工（正）宇佐美 初彦

Seiya Ishimoto*, Hatsuhiko Usami

*Meijo University

1. はじめに

凸部とこれを取り囲む溝から構成されるテクスチャ（以下、凸テクスチャ）は、自動車エンジン用軸受¹⁾、スラリー搬送ポンプ²⁾、スクロールコンプレッサ軸受³⁾等に実用化されている。凸テクスチャの場合、溝部は連結された開放経路として機能するので、油剤の貯蔵効果は低いものの、摩耗粉等が異物も効率よく排出されることが予想される。一方、配列されたディンプルから構成されるテクスチャでは、凹部は閉空間となり油溜りとして機能することで、境界潤滑状態での摩擦低減に寄与することは数多く報告⁴⁾されているが、異物の充填によって異物捕集機能が喪失する可能性も大きい。ところで、凸テクスチャの場合、平坦部は離散的な凸部から構成され、摺動長さは溝により分断されるので、凝着成長抑制も期待できる。硬質な平坦面と軟質な凸テクスチャ面の組合せでは、摩耗粉も十分成長することなく排除することにも繋がり、摩擦係数の安定化にも効果を発現することが期待される。そこで本報告では、焼入れされた炭素鋼平坦面と凸テクスチャが付与された炭素鋼焼鈍材の組合せにおいて、摩擦特性に及ぼす突起形状や面積率と摩擦特性の関係について凝着成長の観点から考察した結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 テクスチャ形成手法

供試材は構造用炭素鋼 S45C である。供試材は旋削により $\phi 44/20t8$ mm のディスク形状に加工し、その一端面に円形凸部（直径 $\phi 1.0$ mm, $\phi 1.5$ mm, 高さ $20 \mu\text{m}$, 面積率 10%~40%）が千鳥配列したテクスチャを付与した。レーザー彫刻の加工条件を Table 1 に示す。凸部周囲のドロスを除去するため、追加工としてラップ研磨を適用した。

Table 1 Laser processing conditions

Power	Frequency	Speed	Hatching width
21 W	30kHz	800 mm/s	0.001 mm

3. 結果及び考察

3.1 凸テクスチャの摩擦低減効果

摩擦特性が Fig. 1 である。試験条件は負荷荷重 250 N, 試験速度 0.25 m/s, 潤滑油量 0.6ml であり、雰囲気は室温大気中である。潤滑油は自動車用エンジン油（添加剤未配合、粘度指数 0w-8,）相手材は焼入れした構造用炭素鋼 S45C リングである。鏡面（未テクスチャ面）の摩擦係数は試験開始直後から急増し、摩擦距離 5 m で実験を中止した。凸テクスチャ付与した場合の摩擦係数は試験開始から急増するともなく、所定の摩擦距離まで実験を継続できた。特に面成立 10, 20% のテクスチャ面の摩擦係数は試験開始直後から急激に低下し、その後は 0.01 程度で低く安定した。

実験後の摩擦面の光学顕微鏡像が Fig. 2 である。実験後の未テクスチャ面を相手材としたリング摩擦面には高さ $10 \mu\text{m}$ 程の隆起部が形成されている。相手面には同程度の深さの溝が形成されその周囲は隆起している。これらを拡大すると、隆起部は微細粒子の凝集によって溝周囲の隆起部周囲には粒界すべりの様相が確認された。一方、凸テクスチャ面では、大きな凝集した隆起部は形成されないが、部分的に変色している。この変色部の形成領域は面積率の大きい場合に拡大する傾向にある。相手材（リング）摩擦面の変色の状況もディスク側に対応するようである。また、テクスチャ面上に形成される黒色部は隆起していることから、移着によって形成され周囲の摩耗もみられない。一方、対向するリング摩擦面の黒色部も隆起しているが、局所的には損傷していることから、黒色部は硬質なリング摩擦面の一部が凝着を繰り返して形成された可能性が高い。

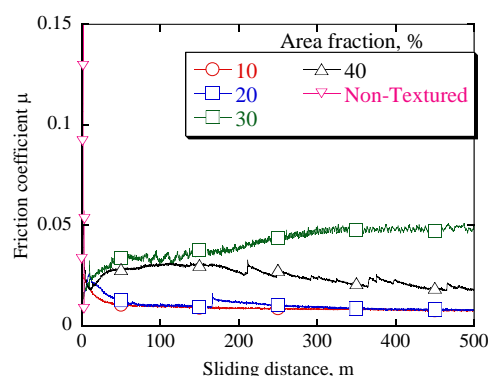


Fig. 1 Friction coefficient

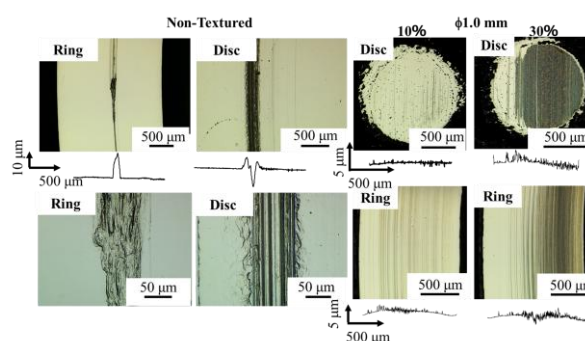


Fig. 2 Optical microscope image of worn surface and profile

この黒色部の拡大像および黒色部中央の AFM 像が Fig. 3 である。黒色部は薄片の堆積によって形成されているようである。その硬さは 640 HM 程度であり、周囲の硬さ 250 HM に比して非常に硬い。したがって、硬さ測定も硬質なリング摩擦面の一部が軟質なディスク側に移着してことを示唆している。凸部の AFM 像には微細条痕が形成され、その内部には大きさ $1\mu\text{m}$ 以下の粒子（白色部）も存在していることから、この粒子を“核”として成長することで黒色部が形成された可能性が高い。

以上の凸部に形成された黒色部の形成過程を未テクスチャ面に適用した場合、テクスチャによる凝着成長が分断されず成長が促進するため、移着層は大きく成長し油膜破断を助長するため、実験初期から摩擦係数は急増するといえる。

3.2 突起径の影響

摩擦特性に及ぼす突起径の影響が Fig. 4 である。同図の摩擦係数は各条件での実験終了直前の値であるが、突起径が 1.5 mm, 2.0 mm の場合には面積率の増加に伴い低下する。特に 40% の面積率の摩擦係数は 0.001 を下回る。一方、突起径 1mm 面積率 30 および 40% の場合、Fig. 1 のように摩擦係数に初期なじみの傾向は確認されなかった。負荷荷重から算出される接触面圧は面積率 10% の場合でも 11.4 MPa であり、S45C 焼鈍材の降伏応力（約 200MPa）に比して非常に小さい。他方、突起径が小さく面積率の大きいテクスチャでは、突起間隔が狭く油剤の流動抵抗が増加する可能性もあり、突起径 1mm で面積率の高い場合には、摩擦係数が増加したと推定される。

3.3 楕円突起の摩擦特性

摩擦方向に長軸をもつ楕円突起の摩擦特性が Fig. 5 である。長軸は 2mm、短軸は 1mm であり、突起面積は 1.5mm の円形突起と同等である。面積率 10% の摩擦係数は微細な変動を伴い、なじみが終了するまでに 100m 程度の摩擦距離を必要とするが、最終的には 0.005 以下まで低下した。これは円形突起の摩擦係数よりも低い。しかし 20 - 40% の面積率の摩擦係数は脈動を伴い不安定で最終的にも 0.01 程度である。円形突起の結果（Fig. 2）と同様に突起面には条痕と変色が形成されているが、色調から判断する限り損傷は軽微なようである。楕円形状とすることで動圧発生を担う突起部の摺動距離は増加するので固体接触の頻度が低減したこと起因する。以上から突起形状を楕円とし、適正な面積率とすることで凸構造テクスチャの摩擦特性が低く安定化することがわかった。

4. まとめ

S45C 焼鈍材にファイバーレーザー彫刻機で配列した円形突起群から構成されるテクスチャを付与し、相手材を S45C 焼入れ材とした潤滑摩擦特性について検討した。その結果

- 1) 非常に低い面積率のテクスチャとすることで、摩擦係数は低く安定化する。
- 2) 小さな突起径を高い面積率で付与した場合、初期なじみは発生せず、初期の摩擦係数が維持されるようである。
- 3) 楕円形状の突起を低い面積率で付与した場合には初期なじみに要する摩擦距離は増加するものの最終的に非常に低い摩擦特性が発現した。

文献

- 1) 加藤 善一郎：自動車エンジン用マイクログロブ軸受けの溝寸法の最適化，自動車技術会論文集，51, 6 (2020) 977
- 2) 林 和宏・松田 充生：不均一溝深さを有する球面スパイラルグロブ軸受の特性，潤滑，24, 6 (1979) 391
- 3) 河緒 実昌：スクロールコンプレッサにおけるテクスチャリング，トライボロジスト，60 4 (2015) 268 - 273
- 4) 佐藤 寿樹・新美 達也・神田 保之・西尾 悟・早川 昇吾・宇佐美 初彦：微細断続切削によって付与したディンプル形状がアルミニウム合金の摩擦特性に及ぼす影響，トライボロジスト，63, 9 (2018) 629

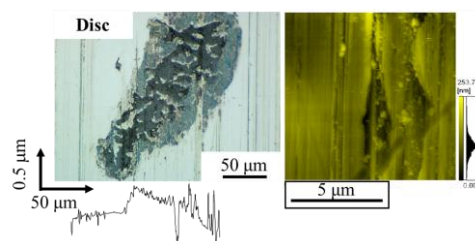


Fig. 3 Enlarged (left) and AFM (right) images of discolored region shown in Fig. 2

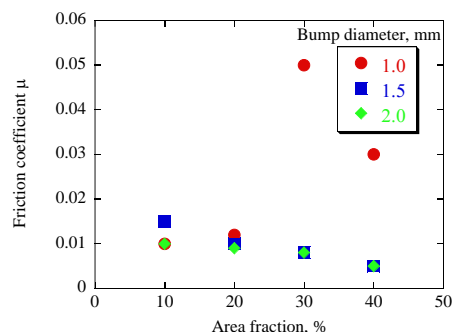


Fig. 4 Relationship between friction coefficient of terminal stage and area fraction of bump

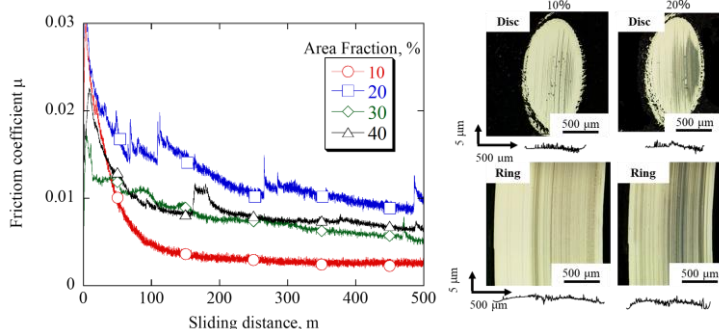


Fig. 5 Friction coefficient (left), Optical microscope image of worn surface and profile (right)