

油不足条件下でのテクスチャ表面潤滑油供給過程のその場観察

In-situ Observation of Lubricant Oil Supply Process by Textured Surfaces in Starved Lubrication Conditions

九州大（学）*松本 律 九州大（正）八木 和行

Ritsu Matsumoto*, Kazuyuki Yagi*

*Kyushu University

1. はじめに

相対運動をする 2 面間の直接接触は、潤滑油の供給により粘性流体膜を 2 面間に形成することにより防止できる。しかし潤滑油供給量が制限される油不足条件下では、実際の表面粗さによる表面の突起高さと形成油膜厚さが同程度となることで突起間の直接接触が生じ、混合潤滑状態が発生しやすくなる。直接接触は摩耗や焼き付きの原因となるため、対策が必要である。近年、テクスチャ表面の利用が潤滑性能改善効果に有用であることが注目されているが、油不足条件においても有効であることが示されている^{1,2)}。本研究では、油不足条件下で摩擦特性の改善効果が生まれるテクスチャ表面に着目した。油不足条件下において、ディンプル形状と溝形状といった二種類のテクスチャ形状が付与された表面を用いて摩擦試験、油膜厚さ測定、接触点付近の潤滑油の観察を行い、テクスチャ表面による摩擦低減機構を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

回転するディスクと平凸型レンズを点接触させて摩擦係数の測定を行った。ディスクは平滑なものと、摩擦軌道に直交する溝付きのものを 2 種類(長さ 0.1 mm と 0.85 mm)、さらに直径 200 μm のディンプル付きのものを 2 種類(ピッチ 1 mm と 2 mm)使用した。なおテクスチャの深さは全て 5 μm とした。また接触面の上方より顕微鏡と高速度カメラを用いて接触点付近のようすを撮影し、接触面におけるテクスチャや潤滑油の挙動を観察した。さらにレンズをクロムコート付きのものを使用して多色干渉法を用いてそれぞれのすべり速度における油膜厚さの測定を行った。なお潤滑油は VG68 相当の Poly-alpha-olefin (PAO)を使用し、供給油量は 100 μl とした。

3. 結果と考察

3.1 摩擦試験結果からの考察

Figure 1 にすべり速度を変化させた際の摩擦係数の測定結果を示す。すべり速度が 30 mm/s から 50 mm/s の低速域では、テクスチャによる摩擦低減効果は見られなかった。すべり速度が 100 mm/s から 300 mm/s の中速域ではテクスチャによる摩擦低減効果が明確に見られた一方、テクスチャの種類の違いによる摩擦係数の大きさの差はあまり見られなかった。すべり速度が 400 mm/s から 800 mm/s の高速域では、中速域と同様にテクスチャによる摩擦低減効果が明確に見られ、さらにテクスチャの種類によっても摩擦係数の大きさに差が見られた。摩擦低減効果は、ディンプル (ピッチ 1 mm) 付きディスク、直交溝 (0.1 mm) 付きディスク、ディンプル (ピッチ 2 mm) 付きディスク、直交溝 (0.85 mm) 付きディスクの順に高く、摩擦係数はそれぞれ平滑ディスクの約 40%から 60%、約 50%から 65%、約 60%から 75%、約 70%から 80%に抑えられた。以上の結果のように、油不足状況が発生しやすいと考えられるすべり速度が高い領域において最も摩擦低減効果を発揮したのは、ディンプル (ピッチ 1 mm) 付きディスクであった。

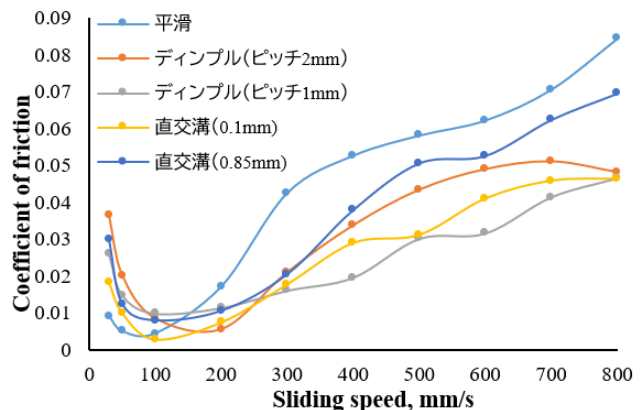


Fig.1 Coefficient of friction

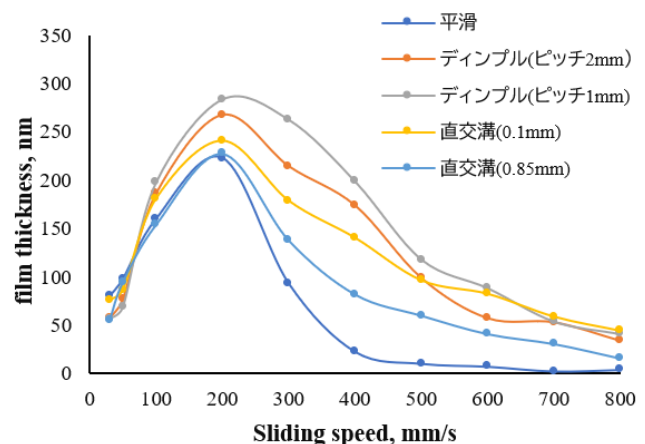


Fig.2 Minimum film thickness

3.2 最小油膜厚さ測定結果からの考察

最小油膜厚さの測定結果を Fig. 2 に示す. すべり速度 30 mm/s から 200 mm/s では全てのディスクで油膜厚さが増大し, 200 mm/s で油膜厚さは最大となった. テクスチャ付きディスクの油膜厚さの最大値は平滑ディスクと比較して, ディンプル (ピッチ 1mm) 付きディスクで約 130%, ディンプル (ピッチ 2 mm) 付きディスクで約 120%, 直交溝 (0.1 mm) 付きディスクで約 110%, 直交溝 (0.85 mm) 付きディスクで約 105%となった. 200 mm/s 以降は全てのディスクで油膜厚さは一貫して減少した. 平滑ディスクではすべり速度が 200 mm/s から 400 mm/s にかけて油膜厚さが急激に減少し, すべり速度が 400 mm/s 以降の高速域では油膜厚さが 20 nm 以下となった. 一方, テクスチャ付きディスクでは油膜厚さの減少率は平滑ディスクより小さく抑えられ, 高速域においても油膜厚さは約 50 nm 以上に保たれていた.

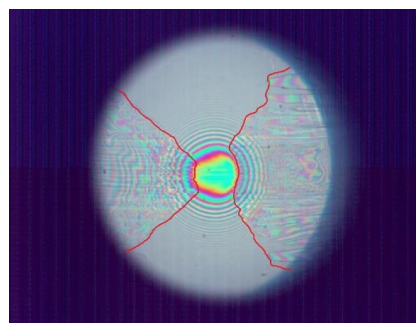


Fig. 3 Observation of contact point for flat disc

3.3 接触点付近の観察結果からの考察

Figure 3 にテクスチャによる接触点付近の潤滑油の挙動の違いが最も明確に確認できたすべり速度が 200 mm/s のときの平滑面ディスクでの接触点付近の観察結果を示す. すべり方向は画像の右方向である. 図中の赤線は潤滑油不足部分の境界を示すものである. 接触点後方には, キャビテーションが広い範囲で発生している. Figure 4 にディンプル (ピッチ 1 mm) 付きディスクについて, テクスチャが接触点を通過する前後のようすを示す. なお, 注目するテクスチャを黄色の線で囲っている. ディンプル形状のテクスチャが接触点を通過した後の画像に着目すると, 接触点付近の油膜がテクスチャにより引き延ばされていることが観察できる.

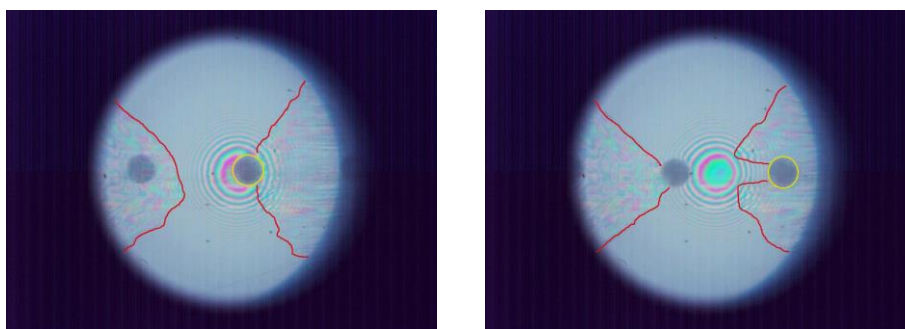


Fig. 4 Observation of contact point for disc with dimple

Figure 5 に潤滑面直径よりも短い直交溝 (0.1 mm) 付きディスクについて, テクスチャが接触点を通過する前後のようすを示す. Figure 4 と同様に接触点付近の油膜がテクスチャにより引き延ばされていることが観察できるが, 引き延ばされた油膜の量はディンプル形状のテクスチャよりも少なかった.

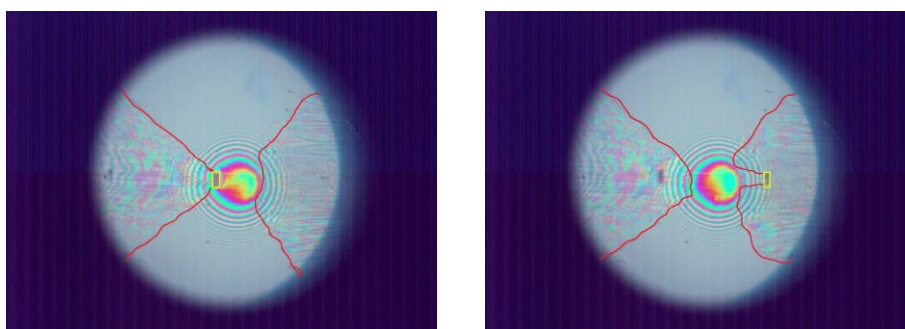


Fig. 5 Observation of contact point for disc with short groove

Figure 6 に潤滑面直径よりも長い直交溝 (0.85 mm) 付きディスクについて, テクスチャが接触点を通過する前後のようすを示す. テクスチャが潤滑油を引き延ばすようすはわずかに観察できるものの, 引き延ばした潤滑油の量は Fig.4,5 と比較して最も少なかった.

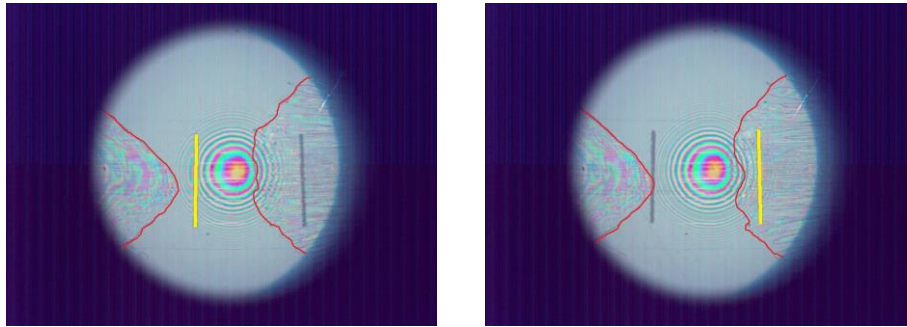


Fig. 6 Observation of contact point for disc with long groove

Figure 4,5,6に見られる, テクスチャによる潤滑油の引きずり出し効果は微小くさび作用に寄るものと考えられるが, 潤滑面直径よりも長い溝形状の場合は引きずり出し効果が弱まるため排出された潤滑油量が最も少なかったと考えられる. Fig. 2 ではテクスチャ付きディスクの方が平滑ディスクより油膜厚さが厚いという結果となったが, これはテクスチャが油膜を引き延ばすたびに, 摩擦軌道の両側の潤滑油が潤沢にある部分から潤滑油が供給され, さらにテクスチャが引き延ばした潤滑油が一周して接触点前方から供給されることによるものと考えられる.

4. おわりに

本研究では油不足条件下でのテクスチャ表面による潤滑特性改善効果を調べることを目的とした実験を行った. 実験では数種類のテクスチャ形状を移動表面上に付与して摩擦力および油膜厚さの測定を行った結果, 以下のことが明らかとなった.

潤滑面の直径よりも小さい直径のディンプル形状が最も油不足改善効果が高くなり, 油不足が起こる高速域で平滑面ディスクの場合よりも摩擦力は低く, 油膜厚さは厚かった. 一方, 潤滑面の直径よりも長い溝形状の場合, 最も油不足改善効果が低かった. この原因については, テクスチャ形状が潤滑面を通過した際にディスク上の潤滑軌道に残す潤滑油量の違いによるものと考えられる. ディンプルの場合が最も潤滑軌道に残された潤滑油量が多く, 潤滑面直径よりも長い溝の場合には, 潤滑油量が最も少なかった.

文献

- 1) Kazuyuki Yagi,* Wataru Matsunaka, Joichi Sugimura: Impact of textured surfaces in starved hydrodynamic lubrication, Tribology International 154 (2021) 106756
- 2) Ke Zhang, Kazuyuki Yagi, Numerical investigation of effect of textured surfaces in starvation conditions under reciprocating motion, トライボロジー会議 2022 春 東京, E4.