

閉じ込め油膜の流動に及ぼす微細溝の影響

Effect of Microgroove on the Flow of Entrapped Oil Film

九工大・工（学）*諸藤 優志 九工大・工（学）北島 史悠 九工大・工（学）松雪 将万 九工大（正）西川 宏志

Masashi Morofuji, Syu Kitajima, Shoma Matuyuki, Hiroshi Nishikawa

Kyushu Institute of Technology

1. 緒言

歯車の接触面や CVT におけるエレメントとプーリーの接触面など、機械要素の中では接触面に垂直な方向の運動が存在する。潤滑された接触面に対して垂直方向の運動が作用することで接触 2 面間に油膜が閉じ込められることが知られている¹⁻³⁾。本報では、容易に高压が得られる閉じ込め油膜を利用して新たな高压粘度測定法を提案することを目的とし、閉じ込め油膜の流出挙動を調査したので報告する。

2. 実験装置及び実験方法

閉じ込め油膜の観察には、二色光干渉法を用いた。実験装置概略図を Fig. 1 に示す。EHL 接触部は下面に Cr 膜を蒸着したガラス円板(BK7)と、直径 19.05 mm (3/4 in)の軸受用鋼球(SUJ2)で構成される。BK7, SUJ2 それぞれの物性値は縦弾性係数 80, 207 GPa。ポアソン比 0.21, 0.3 である。ガラス円板-鋼球間に試料油を満たし、ピエゾアクチュエーターにより鋼球を変位させて油膜を閉じ込め最終荷重 50 N を保持した。このときの平均ヘルツ圧は 0.49 GPa である。

閉じ込め油膜の形成過程を Fig. 3 に示す。2 面の接近により、スクイズ作用で接触域中央部の潤滑油にかかる圧力が急激に上昇し油膜が閉じ込められる。接近による荷重上昇直前の速度を衝突速度 v_{im} とした。接触域中央膜厚の時間変化が小さくなったときの膜厚を閉じ込め油膜厚さ h_c^* と定義した。Figure 4 に衝突速度 v_{im} と閉じ込め油膜厚さ h_c^* の関係を示す。大気圧下粘度が高いほど形成される閉じ込め油膜は厚くなり、各試料油の閉じ込め油膜厚さと衝突速度は、両対数グラフ上で直線関係にあり、またその傾きは同様である。

本研究では、閉じ込め膜を流出させるために、鋼球表面に極短パルスレーザー加工により微細溝を形成し用いた。溝形状を Fig. 2 に示す。溝幅 w_g は 10 ~ 45 μm 、溝深さ d_g は 0.06 ~ 0.25 μm である。実験時の室温は $25.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ とした。用いた試料油の大気圧下密度 ρ_0 、大気圧下粘度 η_0 、粘度-圧力係数 α を Table. 1 に示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 閉じ込め油膜の流出

形成された閉じ込め油膜の流出は表面の微細な粗さに強く影響を受ける。そこで、溝からの流出を主にすることで表面の粗さの影響を小さくした。流出時間の定義は閉じ込め油膜が形成された瞬間から溝付近の最小膜厚部が繋がるまでとした。閉じ込め油膜干渉像の時間変化を Fig. 5 に示す。時間経過とともに、潤滑油が溝へ流出する領域が小さくなり、中央にまとまっていくことがわかる。また、溝付近の最小膜厚部が繋がると、溝へ潤滑油が流れ込みにくくなり、閉じ込め油膜の変化が緩やかになる。

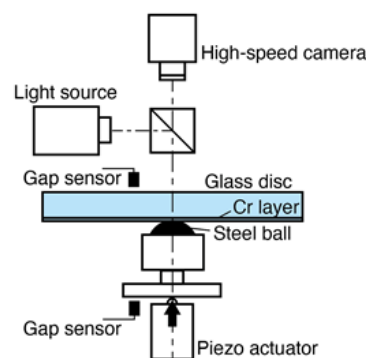


Fig. 1 Experimental apparatus

Table. 1 Properties of oils (at 25°C)

Oil	$\rho_0, \text{kg/m}^3$	$\eta_0, \text{Pa} \cdot \text{s}$	α, GPa^{-1}
NS-3	842	0.038	18
HC-20	827	0.303	17
BS	880	0.925	19
HC-100	839	2.96	19

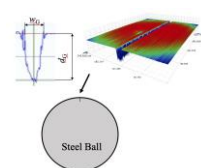


Fig. 2 Micro groove

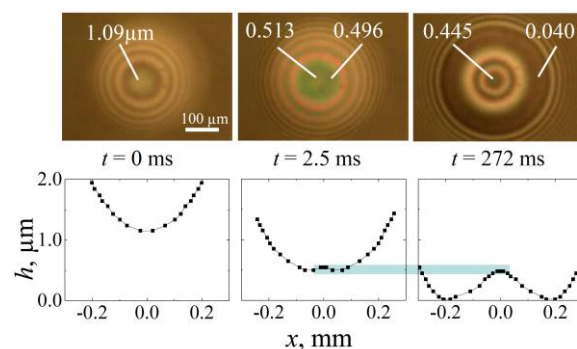


Fig. 3 Oil entrapment

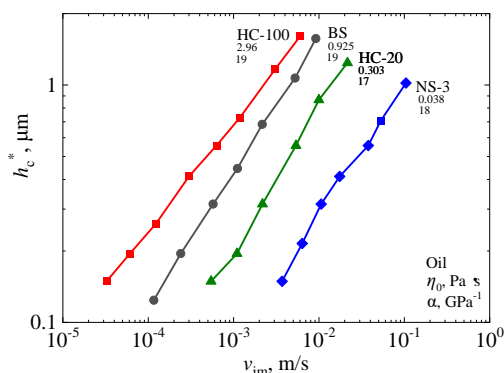


Fig. 4 Effect of v_{im} on h_c^*

3.3 溝深さの影響

試料油にブライトストック (BS) を用い、溝幅 $w_G = 10 \mu\text{m}$ 一定として溝深さ d_G を変化させた場合の d_G と流出時間の関係を Fig. 6 に示す。溝が深くなるほど流出時間は短くなっている。これは溝が深いと流路断面積が大きくなり、流出する流量が増えるからだと考えられる。グラフ上で、 $d_G = 0.06$ と $0.12 \mu\text{m}$ のときを比較すると、流出時間は約 1/100 になっている。まず、流路断面積の増加により溝内の油が流出しやすくなることで、接触中心付近の溝内の圧力が下がる。溝内の圧力低下に伴い、油の粘度が低下することで、溝内の油の流出が促進される。さらに、溝内の油と閉じ込め膜との圧力差がより大きくなることで流出が促進される。以上により、流出時間が極端に短縮されたと考える。

3.4 溝幅の影響

溝深さ $d_G = 0.25 \mu\text{m}$ 一定とし溝幅 w_G を変化させた場合の w_G と流出時間の関係を Fig. 7 に示す。 w_G が大きくなるほど流出時間が長くなる傾向を示した。 w_G が大きくなると試料油が流れる流路断面積が大きくなるため流出時間は短くなることが予想される。しかし、今回の実験では逆の結果となった。これは Fig. 7 上部に示すように、ガラス円板-鋼球間にて、弾性変形により、溝の流路断面積が小さくなるからだと考えられる。

3.5 高圧下粘度と流出時間の関係

$w_G = 10 \mu\text{m}$, $d_G = 0.125 \mu\text{m}$ の溝を用い、各試料油での高圧下粘度 η_p と油膜流出時間の関係を求めたものを Fig. 8 に示す。 η_p と流出時間の関係は両対数グラフ上でほぼ直線関係にあり、 η_p が大きいほど流出時間が長くなることがわかる。すなわち本手法で高圧下の粘度が得られる可能性があると考えられる。サファイア等弾性係数が高い材料を用いることや球の半径を変化させることで、より高い圧力での試験も可能である。今後、広い圧力範囲や多様な試料油に対して調査を進める予定である。

4. 結言

本研究の範囲において、以下の知見が得られた。

- ・溝深さが大きくなると、流路面積の拡大に対して流出時間が急激に短くなる。
- ・溝幅が大きくなると、接触面の弾性変形により接触域の流路面積が減少することで流出時間が長くなる。
- ・流出時間と高圧下粘度 η_p は両対数グラフ上で直線関係になる。

5. 謝辞

本研究の一部は、スズキ財団および競輪の補助を受けて実施したものです。

6. 参考文献

1. H. Christensen, "The Oil Film in a Closing Gap," Proc.R.Soc.London, Ser. A, Vol.266, (1961)312-328.
2. 西川, 半田, 手嶋, 松田, 兼田, "周期スクイズ運動下における EHL 膜の挙動," 日本機械学会論文集, C 編, 59 巻, 561 号, (1993-5)1496-1503.
3. T. Komoto, H. Nishikawa "Investigation of formula on entrapped EHL film thickness under vertical motion-expansion to high speed range-," 46th Leeds-Lyon Symposium on Tribology.

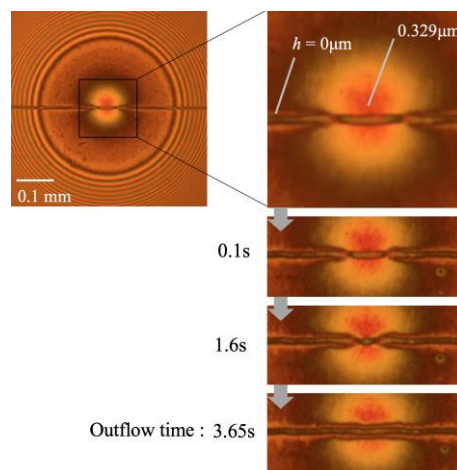


Fig. 5 Time variation of entrapped oil

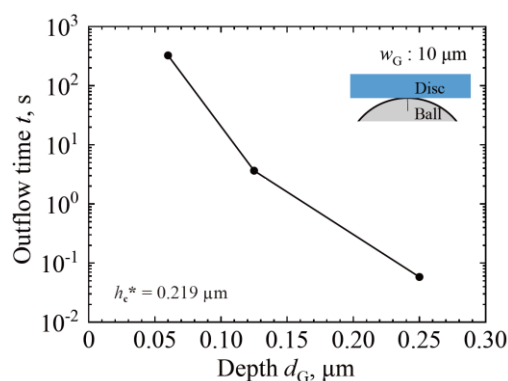


Fig. 6 Effect of d_G on outflow time

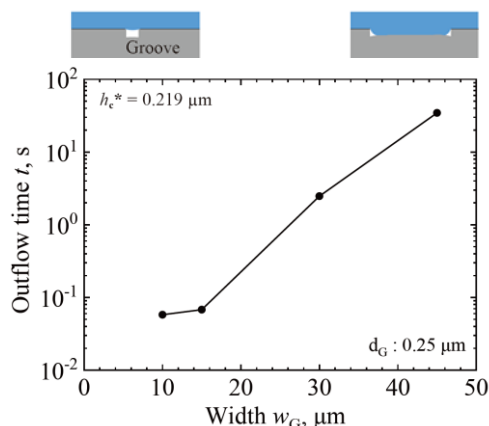


Fig. 7 Effect of w_G on outflow time

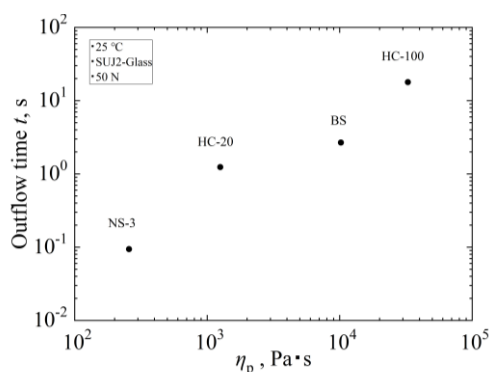


Fig. 8 Effect of η_p on outflow time