

濃厚ポリマーブラシを適用したシールの接触状態評価 Contact evaluation of sealing surface with concentrated polymer brush

NOK (正) *青木 岳也 (正) 青柳 彩子 (非) 青柳 裕一

京大 (非) 石田 紘一郎 (正) 辻井 敬亘

Takeya Aoki*, Ayako Aoyagi*, Yuichi Aoyagi*, Koichiro Ishida**, Yoshinobu Tsujii**

*NOK Corporation, **Kyoto University

1. はじめに

動的シールは相対運動を生じる二面間に取り付けられる機械部品であり、流体の漏洩や外部の異物侵入を防止する。環境保護や省エネルギーの観点から、動的シールには流体漏れ速度低下と摩擦損失低減の両立が要求され、これに応じたしゅう動面形状設計や材料開発が課題となっている。

基材表面へ高密度にグラフトされ、良溶媒中において表面と垂直に伸長した高分子鎖が形成する濃厚ポリマーブラシ (CPB) は、極めて小さな摩擦係数および大きな反発弾性を示す²⁾。ミクロンオーダーでの膜形成により、機械しゅう動部の表面改質が可能なしゅう動材料として注目されている。リングオンリング型のしゅう動面へCPBを付与した動的シールにおいて、摩擦係数の減少 (Fig. 1) および漏れ速度の低下がみられ、動的シールの課題に対するCPBの有効性が確認されている³⁾。筆者らは、このようなCPBの特性を活かしたシールの密封機構の理解を目的として、膨潤したCPBのミクロスケールにおける変形状態や相手面との接触量の評価を行っている。本報では、CPB層の圧縮変形量とシール性能との関係について報告する。

2. 実験

リングオンリング型シール基材 (材質: SUS304, 外径: 22 mm, 内径: 17 mm) にポリメチルメタクリレート (PMMA) のCPB (膨潤前膜厚 $L_d = 0.2, 0.9 \mu\text{m}$) を付与して実験に使用した。CPBの膨潤液体には、イオン液体混合液 A, B, C の3種類を用いた。PMMAの良溶媒 MEMP-TFSI と貧溶媒 MEMP-BF₄ の混合比を変えることで、CPBの膨潤後膜厚 L を変化させた。各膨潤液における混合量とCPB膨潤度 L/L_d の関係を Table 1 に示す。

試験は、静的漏れ測定と荷重変位測定を実施した。静的漏れ試験機の構成を Fig. 2 に示す。CPBを付与したリングを80°Cで10分間加熱して飽和膨潤させ、室温まで冷却した後、未処理の相手材リングに端面接触させた。密封対象は加圧空気とし、接触荷重 0, 10, 15, 20, 25, 30 N の各条件において、リング外周側に初期圧力 0.1 MPa(G) を加えた状態から2分経過後の圧力変化を計測し、空気漏れ速度を算出した。荷重変位測定には、ナノインデントを用いた。先端径 $10 \mu\text{m}$ の円錐圧子を使用し、荷重 $1000 \mu\text{N}$ までの押し込み過程における荷重変位曲線を取得した。

3. 結果

静的漏れ測定により接触荷重と空気漏れ速度の関係を得た。 $L_d = 0.9 \mu\text{m}$ の結果を Fig. 3 に示す。接触荷重が大きいほど、また膨潤度が大きいサンプルほど、漏れ速度が小さくなる傾向が見られた。 $L_d = 0.9 \mu\text{m}$ における荷重変位測定の結果を Fig. 4 に示す。膨潤度が大きいサンプルほど、圧縮変形量が大きくなった。これらの傾向は、 $L_d = 0.2 \mu\text{m}$ においても同様であった。

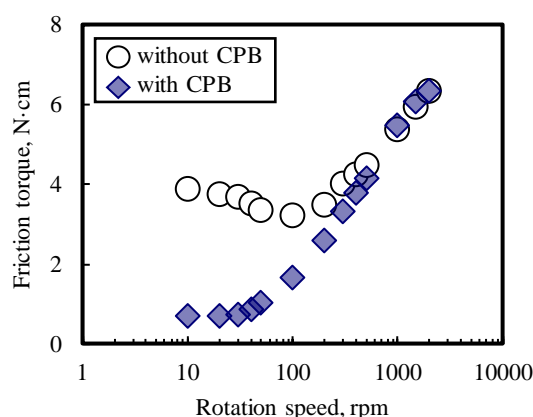


Fig. 1 Friction reduction of face seal by CPB³⁾

Table 1 Swelling ratio of CPB samples

Swelling liquid sample	A	B	C
MEMP-TFSI, vol%	0	75	100
MEMP-BF ₄ , vol%	100	25	0
CPB swelling ratio L/L_d , -	1.0	2.1	3.5

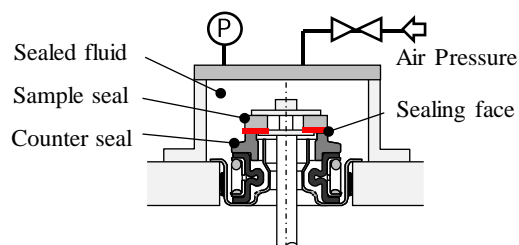


Fig. 2 Schematic of static sealing test apparatus

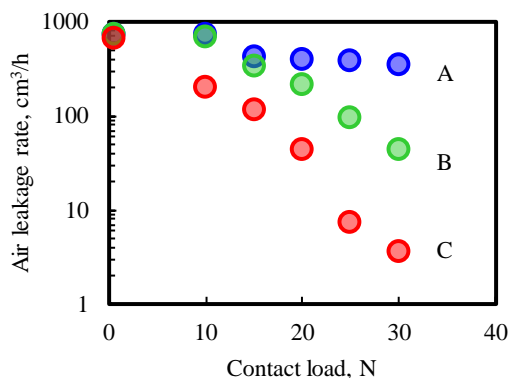


Fig. 3 Air leakage from swollen CPB seals ($L_d = 0.9 \mu\text{m}$)

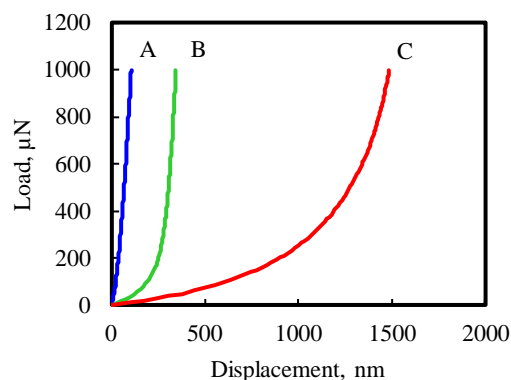


Fig. 4 Load-displacement curves for CPB ($L_d = 0.9 \mu\text{m}$)

4. 考察

接触部の変形量と密封性の関係を Fig. 5 に示す. シール接触面圧の代表値を 0.1 MPa とし, 両測定においてこれに対応する変形量および空気漏れ量の測定値をプロットした. また, 端面接触型シールの漏れ量 Q が, 二面平均隙間量 h における Poiseuille 流れに基づく放射状流量

$$Q \cong \frac{\pi h^3}{6\eta \ln(r_0/r_1)} \Delta P$$

に従うと仮定した場合の, Q と Δh の関係を破線で示した. ただし ΔP は流体差圧, η は流体粘度, r_0 はリング外周半径, r_1 はリング内周半径であり, 初期値 h の違いにより複数示している. 変形量が大きくなるほど, Q の測定値は破線に対して大きく減少した. このことは, CPB を付与したシールが従来と比べて小さな変形量で隙間を埋め, 密封性を向上できることを示唆している. したがって, CPB の相手面への追従による変形は, 特にブラシ先端層において顕著に生じると考えられる. 密封性能に寄与する CPB 特性の定量には, 数十から数百 nm の最表層領域に着目した接触状態評価が併せて必要である.

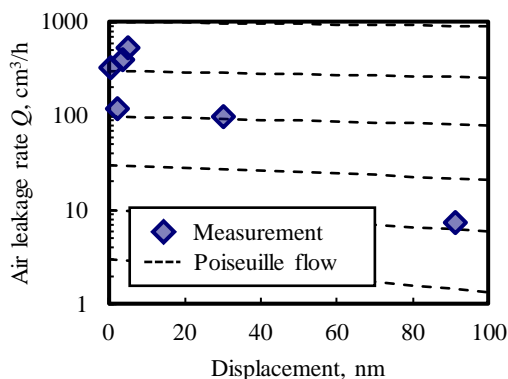


Fig. 5 Measured leakage volume and CPB displacement

5. まとめ

本報では, CPB を付与したシールの漏れ速度と圧縮変形量をそれぞれ測定した. CPB の膨潤度が大きいほど, ブラシ層の変形量が増加し, シールの漏れ速度は減少した. 漏れ速度の抑制効果が従来のシールと比べて大きく, 相手面への追従性に優れる CPB 最表層の寄与が示唆された.

文献

- 1) 沼田: オイルシールの低摩擦化技術動向, トライボロジスト, 65, 6 (2020) 349.
- 2) 辻井: 濃厚ポリマーブラシとトライボロジー, 繊維学会誌, 64, 5 (2008) 146.
- 3) 青木・細沼・佐藤・福原・辻井: 濃厚ポリマーブラシを用いた低摩擦シールの開発, トライボロジー会議 2021 秋 松江 予稿集 (2021) 36.