

## DLC コーティングによる樹脂の摩擦摩耗特性への影響

## Effect of DLC Coating on Friction and Wear of Resin

三井 E&amp;S マシナリー（正）\*大西 博子 三井 E&amp;S マシナリー（非）石原 修二

岡山県工技センター（正）國次 真輔

Hiroko Onishi\*, Shuji Ishihara\*, Shinsuke Kunitsugu\*\*

\*Mitsui E&amp;S Machinery Co., Ltd., \*\*Industrial Technology Center of Okayama Prefecture

## 1. はじめに

無給油で運転される往復動圧縮機において、ピストンリング等の摺動部のシール材には PTFE を母材とした樹脂複合材が多く使用されている。各メーカーでは充填材の種類や含有量が調整された多数の複合材がラインナップされており、ガスの種類や運転条件に応じて適切な材料を選定し使用することになる。しかし、同じ成分で構成された複合材であっても、組織構造によって異なる摩擦摩耗特性を示す場合も多く、材料選定は経験的で難しいものとなっている。

DLC は摩擦摩耗特性を向上させる表面改質皮膜として機械部品の摺動部に採用されるケースが増えている<sup>1)</sup>。主に金属材料への適用実績が多いが、近年では樹脂への成膜も検討されている<sup>2)3)</sup>。樹脂複合材を摺動部材として使用する場合、機械的特性および摩擦摩耗特性の双方が使用環境に適する必要があるが、仮に DLC が摩擦摩耗特性を担うことができれば、その基材樹脂は機械的特性のみに注力すればよく、材料選定はよりシンプルに行えるようになる。そこで基礎的検討として、ポリフェニレンサルファイド (PPS) を基材として DLC を成膜し、DLC の密着性および摩擦摩耗特性について評価した。

## 2. 実験方法

半径 10 mm の半円、厚さ 5 mm の円弧面にプラズマイオン注入・成膜(PBIID)法<sup>4)</sup>により DLC (a-C:H) 膜を成膜し摩擦摩耗試験片とした。振動摩擦摩耗(SRV)試験機にて窒素ガス雰囲気の下、Table1 の条件にて FC250 (φ24×5) との摩擦摩耗試験を実施した。試験片は Fig.1 に示すように樹脂試験片の弧の頂点上の線と FC250 が線接触するように配置し、摩耗量は試験後の樹脂試験片の摩擦面における接触面積から算出した。また、PPS と a-C:H 膜との密着性はロックウェル圧痕試験にて評価した。先端曲率半径 200 μm のダイヤモンド圧子にて荷重 60 kgf で試験を実施した。

## 3. 結果と考察

## 3.1 a-C:H 膜と PPS との密着性

ロックウェル圧痕試験の結果を Fig.2 に示す。圧痕の中心から放射状の亀裂が生じたが、a-C:H 膜の剥離は見られなかった。载荷による変形量が a-C:H 膜よりも基材である PPS のほうが大きいため亀裂は入ったが、基材との密着性は高い a-C:H 膜であることがわかった。なお、さらに荷重を上げた場合には基材の変形が大きく、所定の荷重で圧痕を付与することができなかった。

## 3.2 摩擦摩耗特性

試験中の摩擦係数の平均値を Fig.3 に示す。PPS の摩擦係数は室温で約 0.6、120℃で約 0.7 であった。一方 a-C:H 膜をコーティングした PPS (DLC-PPS) の摩擦係数は温度の高いほうが摩擦係数はやや小さい傾向にあり、室温で約 0.3、120℃で約 0.2 となった。いずれの温度でも DLC-PPS の摩擦係数は PPS に比べて明確に低減することが確認された。ここで、それぞれの試験片と摩擦した相手材の表面画像を Fig.4 に示す。PPS と摩擦した FC250 の表面では摩擦部から排出された摩耗粉と、左右の摩擦方向に沿った微かな移着物があるものの、広い範囲で金属の加工痕が残っていた (Fig.4a)。摩擦によって発生した摩耗粉は大半が摩擦面外に排出されるか PPS 側に再付着したために移着物が少なかったと考える。DLC-PPS との摩擦面には摩擦に沿った黒色の移着物が確認された (Fig.4b)。ラマン分光分析より移着物からは G バンドに起因するピークと D バンドに起因するピークが得られ、これが DLC-PPS との低摩擦現象に寄与したと考える。

Table 1 Condition of SRV test

	Test 1	Test 2
Disc temperature, °C	Room temperature	120
Load, N	20	
Frequency, Hz	10	
Stroke, mm	1.0	
Sliding Distance, m	72	

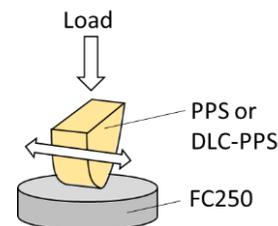


Fig. 1 Arrangement of SRV experiment

比摩耗量については、PPS では高温のほうが大きく、120℃のときは室温に比べて約2倍の摩耗量となった (Fig.5)。PPS のガラス転移温度は約90℃であり、それを越えた120℃では大きく耐摩耗性が低下したためと考える。DLC-PPS の比摩耗量はいずれの温度でも PPS より低減し、室温では4分の1程度、120℃では5分の1程度になった。DLC-PPS の摩擦面の画像を Fig.6 に示す。摩擦面の A 部分と B 部分ではテクスチャーが異なり、ラマン分光分析から、A 部分には摩擦前と同様の a-C:H 膜が残っていることがわかった (Fig.7)。摩擦面に残留した a-C:H 膜が持つ耐摩耗性が比摩耗量の低減につながったと考える。

#### 4. おわりに

PPS を基材として a-C:H 膜を成膜し、FC250 との摩擦摩耗試験を行った。今回の試験条件の範囲では摩擦摩耗によって a-C:H 膜が広範囲に剥離することはなく、摩擦係数の低減、比摩耗量の低減が確認された。今回の試験は短期の結果であるため、低摩擦及び低摩耗の持続性について今後検討する予定である。

#### 文献

- 1) 大竹・平塚・齋藤：DLC 膜の規格化について，トライボロジスト，58，8 (2013) 538.
- 2) 中東・三宅・村上：DLC 膜のゴム・高分子材料への適用，トライボロジスト，47，11 (2002) 833.
- 3) 滝澤・石原・國次：プラズマイオン注入成膜法による耐腐食性及び耐摩耗性に優れた DLC 膜の開発，三井造船技報，219 (2017) 32.
- 4) 鈴木：複雑三次元形状物へのパルスプラズマによる DLC 成膜と産業応用，電学論 B，127，2 (2007) 349.

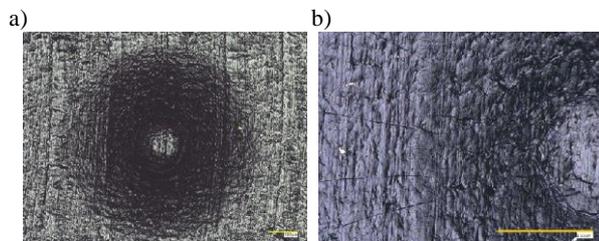


Fig. 2 Images of HRA indentation test

(a) whole image, (b) enlarged image around indentation center

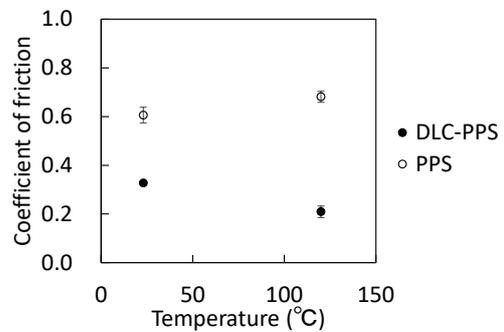


Fig. 3 Coefficient of friction

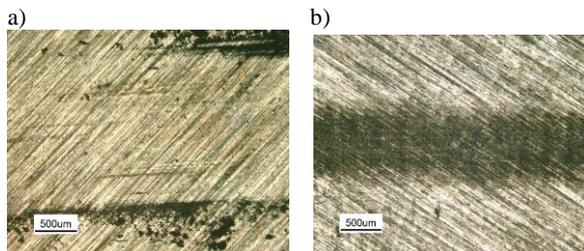


Fig. 4 Images of FC250 discs after SRV test at 120°C

(a) PPS, (b) DLC-PPS

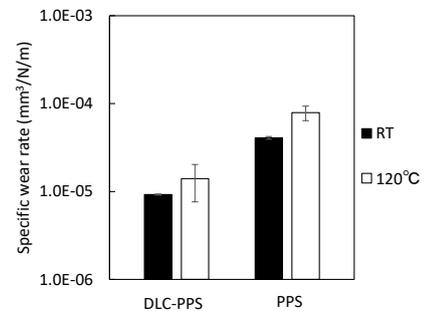


Fig. 5 Specific wear rate

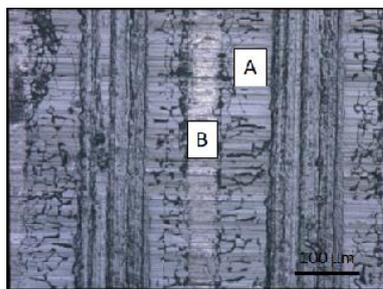


Fig. 6 Contact face of DLC-PPS after SRV test at 120°C

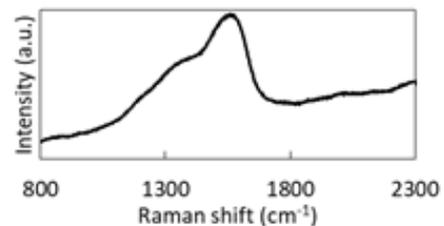


Fig. 7 Raman spectrum of A area