

突起テクスチャが DLC の摩擦特性に及ぼす影響

Effect of protrusion texture on friction properties of DLC

新潟大・院（学）*安達 汰生 新潟大・工（正）月山 陽介

Taisei Adachi, Yosuke Tsukiyama

Niigata University

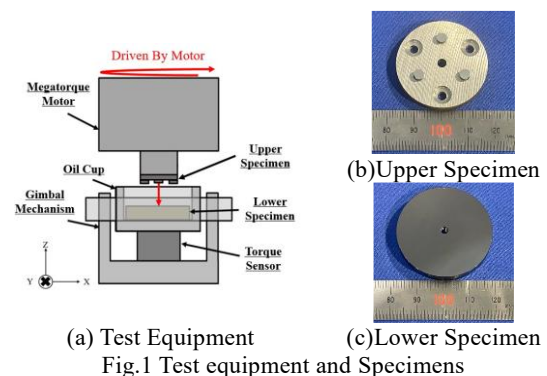
1. 緒言

近年、産業界では機械の高効率化および環境負荷の低減が強く求められている。その対策の一つとして、機械部品への低摩擦・耐摩耗性コーティングの適用が検討されてきた。なかでも、高硬度で優れた機械的特性を有するダイヤモンドライクカーボン（Diamond-like carbon: DLC）コーティングは、低摩擦性および耐摩耗性の点で注目を集めている。DLC の低摩擦発現メカニズムとしては、しゅう動中に生じる構造変化（グラファイト化）と移着現象による DLC 同士の接触面形成が重要と考えられている¹⁾。これまでの DLC の低摩擦発現の研究は、他元素添加や UV 照射など DLC そのものを改質する取り組みが主であり、相手材表面に着目した報告例はほとんどない²⁾。つまり、相手材表面を任意に設計・加工する手法については十分に検討されておらず、DLC と対向する表面を工夫することで、より低い摩擦特性を得られる可能性がある。そこで本研究では、レーザマイクロテクスチャリング技術を用いて突起テクスチャを施した表面を相手材として適用し、往復しゅう動下における水素含有 DLC の摩擦特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。また水素含有 DLC 膜は雰囲気などの作業環境に敏感であり、これらの影響で異なる性質を示す。そのため、突起テクスチャ表面による相対湿度の影響も調査するため、大気中で実験を行った。

2. 試験方法

2.1 摩擦試験

なじみ促進を目的とし、同一箇所を微小距離にて繰り返し往復しゅう動させる方式の摩擦試験を行った。微小往復しゅう動試験装置の概略図および試験片の画像を図 1 に示す。この装置の上半分は、上側試験片およびメガトルクモータで構成され、下半分は、下側試験片、オイルカップ、トルクセンサおよびジンバル機構で構成されている。微小回転角度による円弧軌道の往復動作である。上側試験片には SUS304 を、下側試験片には SUS304 の表面に a-C:H DLC を製膜したものをを用いた。しゅう動距離 58.9 μm （回転角 0.30°）の往復動作とし、垂直荷重 14.3 N、しゅう動速度 70.69 $\mu\text{m/s}$ 、300 往復まで試験を行った。試験環境は大気中で、気温を 25 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度を低湿度（RH < 20%）および高湿度（RH > 55%）に設定した。



(a) Test Equipment (b) Upper Specimen (c) Lower Specimen
Fig.1 Test equipment and Specimens

2.2 表面形状

上側試験片の材質は SUS304 であり、鏡面およびレーザマイクロテクスチャリング (Laser Micro Texturing: LMT) 面の 2 種類を用意した (1 試験片中の 3 つのピンは全て同一形状)。バフ研磨した表面を鏡面 ($R_a=0.061 \mu\text{m}$)、レーザ加工面を LMT 面 ($R_a:6.45 \mu\text{m}$) と本研究では呼称する。レーザ加工は YAG レーザ装置 (ML 7064A, アマダウェルドテック、レーザ波長 1.064 μm) で行った。レーザ照射電流 15A、走査速度 90 mm/s、走査間隔 90 μm 、Q スイッチパルス発振周波数 1.0 kHz、加工繰返回数 10 回で作製した突起テクスチャを図 2 に示す。また、下側試験片の DLC 表面には、数 μm の凸部が点在している。（画像は本稿では省略）

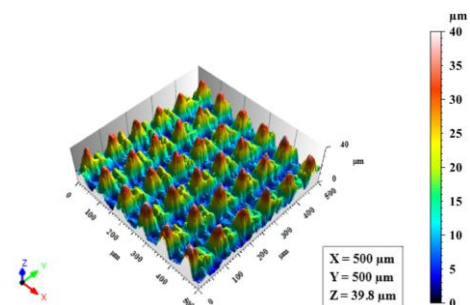
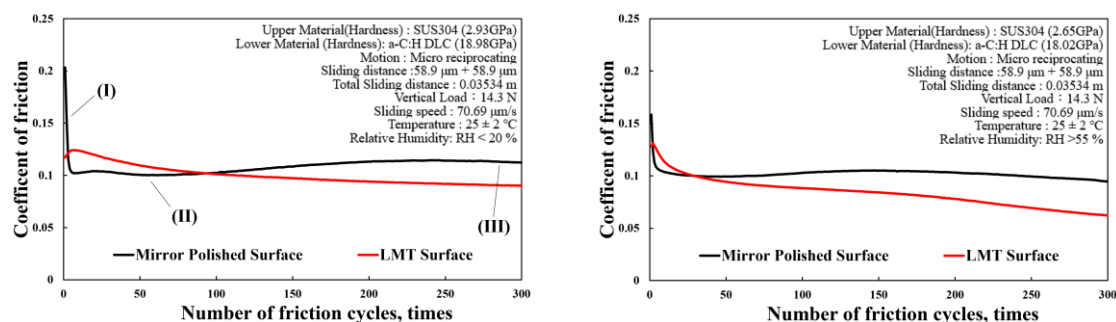


Fig.2 Laser Micro Texturing Surface

3. 実験結果および考察

低湿度および高湿度環境における摩擦係数の推移を、それぞれ図 3(a) および図 3(b) に示す。この図では、往路と復路の動摩擦係数の絶対値の平均を示す。低湿度環境では図 3(a) より、SUS304 鏡面の摩擦係数は (I) 初期に急激に減少し、(II) 中盤にかけて漸増し、(III) 終盤に減少する傾向が見られた。一方、SUS304 LMT 面に摩擦係

数に着目すると、(Ⅱ)の漸増から始まり、その後摩擦係数が減少する挙動を示した。図4に摩耗痕の観察画像を示し、摩耗痕から推測される上側試験片(SUS304)と下側試験片(DLC)の接触状態を図5に模式的に示す。図5(a)のようにDLCの相手表面がSUS304鏡面である場合、DLCの凸部先端が選択的に接触して相手表面を掘り起こす。DLC凸部が摩擦によって脱落して、掘り起こしによって隆起した場所がDLC平坦部に接触して凝着摩耗が支配的になる。この過程が(Ⅰ)の摩擦係数の減少として現れると考えられる。(Ⅱ)では、凝着摩耗によりしゅう動部分の酸化膜が摩擦によって除去されるため摩擦係数は増加していくと考えられる。(Ⅲ)では、DLCが移着していきDLC同士のしゅう動状態に移したことで摩擦係数が減少すると考えられる。しかし、SUS304LMT面は表面の凹凸が大きく、図5(b)のようにLMT突起頂点がDLCの平坦部に接触する場合、DLC凸部の影響を受けないために(Ⅰ)の摩擦係数の減少は現れない。そして、LMT突起頂点のみが選択的にDLC平坦部に接触して摩耗することから、(Ⅱ)の過程から始まり(Ⅲ)の状態へと早期に移行する。このため、SUS304鏡面に比べてより良好なしゅう動状態となったと考えられる。その結果、SUS304LMT面の方が300往復時点で摩擦係数が低くなったと考えられる。次に、高湿度環境下のしゅう動について考察する。図3(b)より、低湿度環境下で見られた摩擦係数の推移が、高湿度環境下ではより早期に現れることが確認された。このことから、相対湿度がDLCのなじみ特性に影響を及ぼし、高湿度環境ほど摩擦面のなじみが早く進行すると考えられる。また、SUS304LMT面は(Ⅲ)の過程での摩擦係数が大幅に減少する傾向を示しており、さらに低摩擦状態へと進行することが予想される。



(a) Low Humidity (RH < 20%)

(b) High Humidity (RH > 55%)

Fig.3 Relationship between number of reciprocations and coefficient of friction

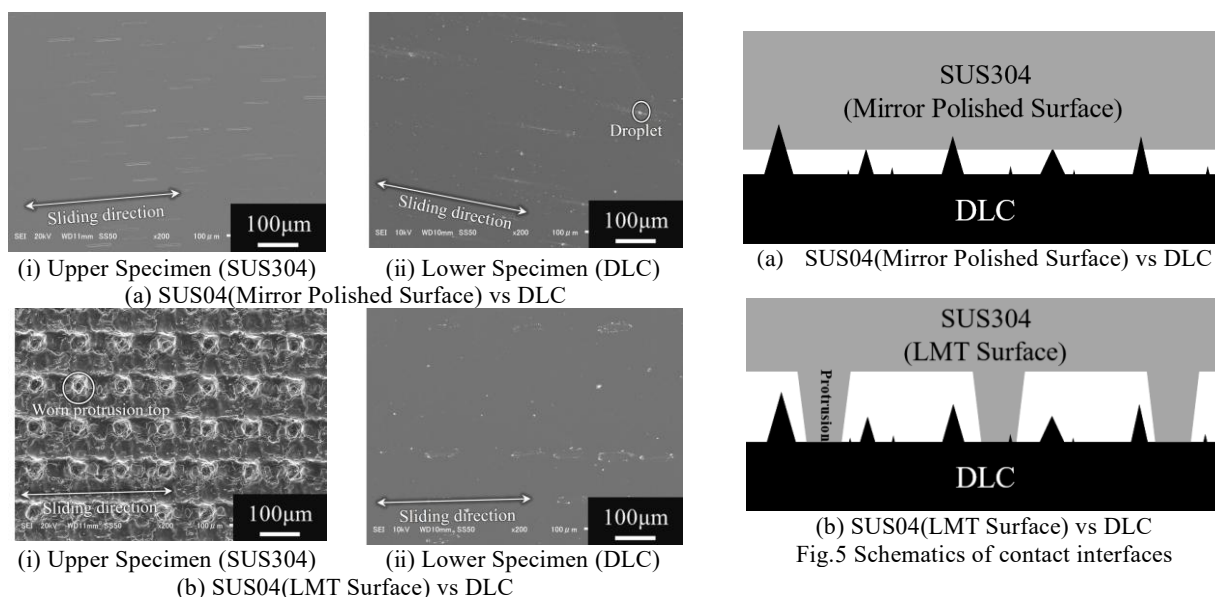


Fig.5 Schematics of contact interfaces

Fig.4 SEM images of wear scars on each surface under low humidity

4. 結言

微小往復しゅう動下における水素含有 DLC の摩擦係数に及ぼす突起テクスチャの影響を調査した結果、DLC 膜のなじみを短縮させるための重要な知見が得られたと考えられる。具体的には以下の通りである。

- ・突起テクスチャにより DLC 表面との接触状態を適切に制御されることで、なじみ時間が短縮されて最終的な摩擦係数は鏡面よりも低くなった。
- ・高湿度環境下であるほど、なじみが早く進行することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 神田 一隆: ダイヤモンドと DLC が低摩擦係数を発現するメカニズムに関する一考察, 表面技術, 46, 9(2018) 441.
- 2) 野老山・羽田野・梅原・不破: ダイヤモンドライクカーボン膜の大気中摩擦係数に及ぼす紫外線照射の影響, 日本機械学会論文集 C 編, 76, 771(2010) 3166.