

なじみ過程における表面性状の変化に着目した リン酸マンガン被膜と ta-C 膜の組み合わせの低摩擦化解析

Low Friction Analysis of Combination of Manganese Phosphate Coating and ta-C Coating Focusing on the Change of Surface Topography during running-in Process

宇大（正）*小野 翔海 馬淵 豊 日産（非）有田 凌也 平山 勇人

Kakeru Ono*, Yutaka Mabuchi*, Ryoya Arita**, Hayato Hirayama**

*Utsunomiya University, **Nissan Motor Co. Ltd

1. 緒言

地球温暖化対策として、自動車用パワートレインでのエンジンのダウンサイジング化や電動化が加速し、軸受け材料への負荷が高まっている。軸受けの耐焼き付き性向上の方策の一つとして、硬質で低摩擦を示す^[1]水素フリーDLC膜（tetra amorphous carbon, ta-C）の適用が注目されている。一方で、ta-C膜は厳しい試験条件において、基材との密着力不足に起因する剥離が発生する場合もある。そこで、相手材として軟質でなじみ性に優れ^[2]、相手攻撃性が少ないリン酸マンガン被膜（MnP）を用いることを検討している。

先行研究では、ta-C膜とMnPを組み合わせることで、耐焼き付き性向上効果が得られ、解析の結果、MnPによるta-C膜の剥離抑制と、ta-C膜によるMnPの早期なじみによる低摩擦化を両立し、結果として耐焼き付き性の大幅な向上が期待できることを示した^[3]。一方、摩擦試験後の合成粗さと摩擦係数に相関があることから、低摩擦化の要因としてなじみによる合成粗さの低減が考えられる。他方、なじみ過程は試験条件によって影響を受けることが想定され、最適な条件の把握となじみに関する詳細なメカニズムの解明が必要である。

そこで、本研究ではta-C膜とMnPの組み合わせにおいて、異なる荷重条件にて摩擦評価を行い、摩擦係数の変化やなじみ過程を調べた。

2. 試料及び実験方法

ピンオンディスク方式の摩擦試験で荷重3条件での摩擦係数の測定を行った。試験装置図をFig.1に示す。試料はSUJ2にta-C膜を成膜したピン（φ5×5mm, Rq 0.047μm）とSCM440にMnP処理を行ったディスク（φ31.1mm, Rq 1.680μm）を用いた。試験条件は荷重5, 15, 50kgf, 回転数100rpm（滑り速度0.08m/s）、試験時間180min, 油温100℃, 潤滑油は100℃動粘度が2cstの基油Poly-alpha-olefin（PAO2）にZnDTPを1.04wt%添加したものをを用いた。試験後にレーザー顕微鏡（オリンパス OLS4000-SAT）による形態観察と表面粗さ測定、FE-SEM/EDX（日立 S-4500・堀場 EMAX-5770）による元素分析を行った。

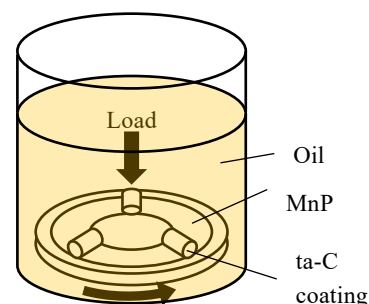


Fig.1 Schematic of friction test

3. 結果及び考察

試験中の摩擦係数の推移をFig.2に示す。試験終了時の摩擦係数は15kgfが最も低く、50kgfが最も高かった。5kgfでは試験開始後に摩擦係数が低下したが、摩擦係数に小幅の振幅が発生した。15kgfでは試験開始後に摩擦係数が低下し、最も低い値のままで安定した。50kgfでは、試験開始後に摩擦係数が最も低く低下したが、数分後に急上昇し、高い値で安定した。

試験末期の摩擦係数と試験後の試料の合成表面粗さの関係をFig.3に示す。摩擦係数と試験後合成表面粗さは良い相関を示した。荷重違いによる摩擦係数の差は2面間のなじみによる合成粗さの差が主要因と考えられる。

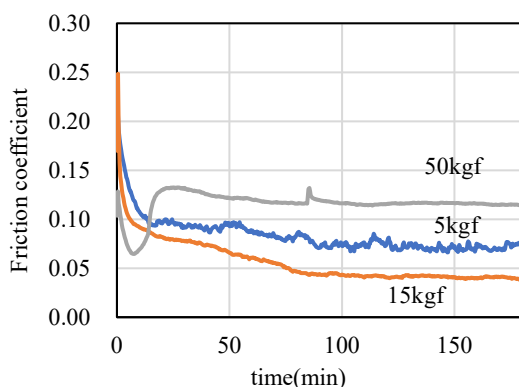


Fig.2 Friction test results

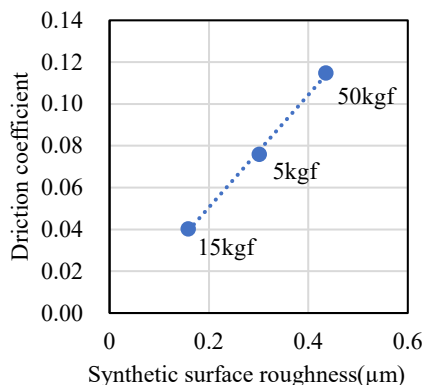


Fig.3 Relationship between coefficient of friction and synthetic surface roughness

試験後 T/P のレーザー顕微鏡写真を Fig.4 に、表面粗さを Fig.5 に、EDS スペクトルから得た MnP の Mn 量を Fig.6 に示す。15kgf では MnP の表面粗さが試験前に対して大幅に減少し、ta-C 膜の表面粗さは若干大きくなった。硬質な ta-C 膜が軟質な MnP と摺動することで、ta-C 膜の表面粗さが悪化することなく MnP を平滑化させ、合成粗さの低い摺動面を形成し、低摩擦化したと考えられる。5 kgf では、ta-C 膜の表面粗さは 15kgf 時よりも平滑のままであるが、MnP の表面粗さは粗い。荷重が小さいことで、ta-C 膜による研磨作用が小さく、MnP を完全に平滑化できないまま定常化したと考えられる。そのため、合成粗さが低減せず摩擦係数の低減代が少なかったと考えられる。50kgf では ta-C 膜の剥離が認められ、ピンの粗さは大きく粗面化した。表層の MnP が摩滅して基材が露出し、摺動部の Mn 量は大幅に減少して、表面粗さは 5kgf や 15kgf と比較し増大した。試験初期は ta-C 膜が MnP を平滑化することで摩擦係数が減少したが、定常化に至る前に ta-C 膜が剥離し、粗面化及び摩擦を引き起こし、摩擦係数が上昇したと考えられる。

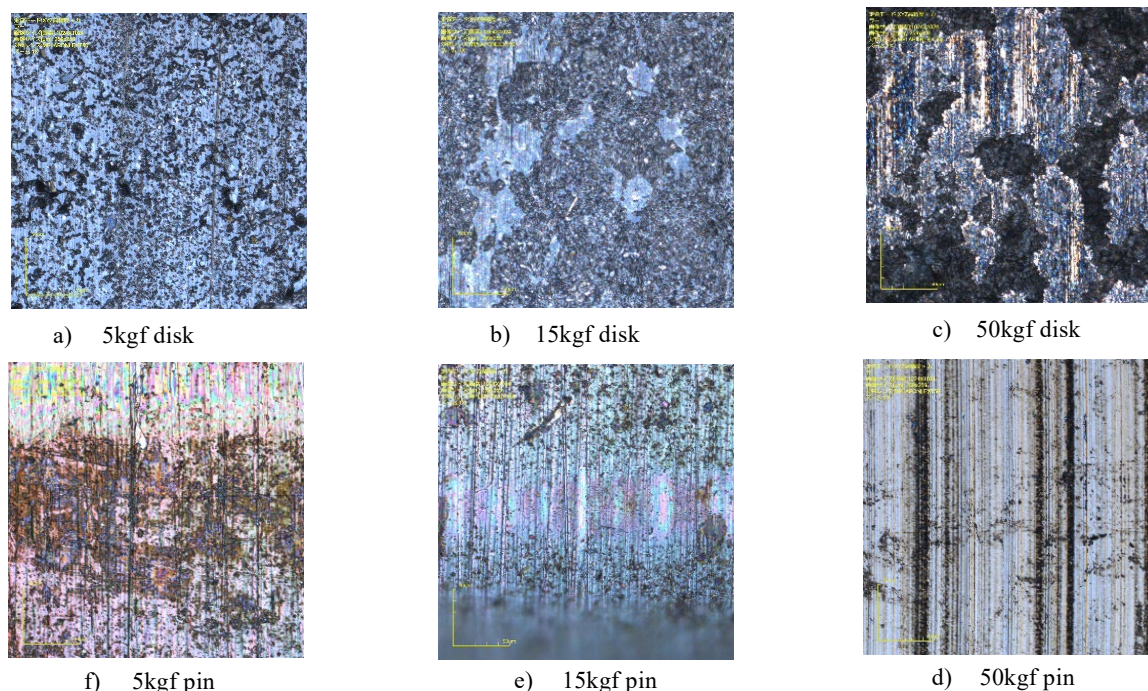


Fig.4 Laser microscopy images of samples after test (x20)

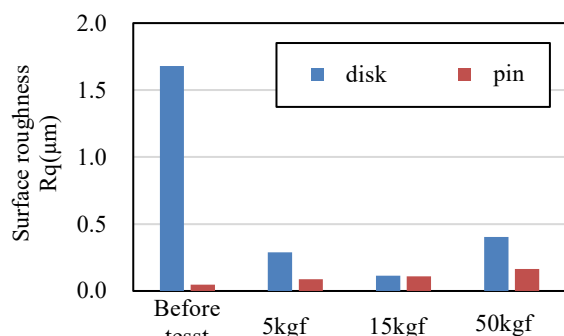


Fig.5 Surface roughness after test

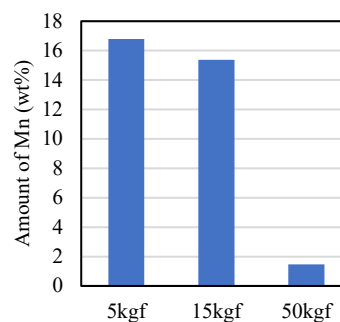


Fig.6 Mn residual amount of disk after test

4. 結言

MnP と ta-C 膜の組み合わせで荷重を変えた摩擦評価及び表面分析より以下の知見を得た。

- (1) 摩擦係数は低い順に 15kgf で最も低く、5kgf、50kgf の順で高くなった。
- (2) 荷重違いでの摩擦係数と合成表面粗さの間に相関関係が認められた。
- (3) 荷重 15kgf では、MnP の著しい平滑化が認められたが、5kgf や 50kgf では低減代が小さかった。
- (4) 荷重 50kgf でピンに成膜した ta-C 膜は剥離し、ピンの面粗度が悪化した。

文献

- (1) Haci Abdullah Tasdemir, Friction and Wear Performance of Boundary-lubricated DLC/DLC Contacts in Synthetic base Oil, Procedia Engineering, Vol68, p518-524 (2013) .
- (2) 川口純；ライボロジー分野へのリン酸マンガン処理の適用，表面技術，Vol. 61, No3, p239-245 (2010).
- (3) 小野 翔海ら；リン酸マンガンと ta-C 膜の組合せによる耐焼付き性向上のメカニズム解析，日本機械学会茨城講演会予稿集，p43 (2023)。