

高熱伝導ダイヤモンド焼結体の耐焼付き性に関するメカニズム解析

Analysis of Seizure Resistance of High Thermal Conductivity Polycrystalline diamond

宇大（正）*小野 翔海 馬渕 豊 **トーメイダイヤ（非）藤野 聰 山中 博

***栃木産技セ 益子 朱音 竹澤 信隆

Kakeru Ono*, Yutaka Mabuchi*, Satoshi Fujino**, Hiroshi Yamanaka**

Akane Mashiko***, Nobutaka Takezawa***

*Utsunomiya University, **Tomei Diamond Corporation, *** Industrial Technology Research Center of Tochigi Prefecture

1. 緒言

地球温暖化対策として、自動車用パワートレーンでのエンジンのダウンサイ징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。現在エンジン用すべり軸受けの材料として主に銅合金やアルミ合金が用いられているが、材料としての耐焼き付き性の限界に達しつつあり、代替材料への期待が高まっている。その一つとして、水素フリー DLC 膜 (tetra amorphous carbon, ta-C) が注目されているが、高面圧下での耐剥離性と耐摩耗性が課題である。ダイヤモンド焼結体は、ダイヤモンド粒子を金属製バインダーとともに焼結した焼結体であり、ta-C 膜よりも高い硬度を持ち^[1]、剥離や摩滅の恐れがない。また、焼付きの発生を抑制する方法として、接点の温度が軸受け材料の融点に達しないことが重要である。一方、接点温度の低減に、材料の高熱伝導化による抜熱性の向上と、低摩擦化による発熱量の低減が有効である。本研究で使用したダイヤモンド焼結体 (PCD) は 452W/m・K と、金属に対し熱伝導率が高く、更に、ta-C 膜とグリセリンモノオレート (GMO) の組合せによる極低摩擦化技術^[2]が応用できる可能性があり、高い耐焼き付き性を期待できる。

そこで本研究は、潤滑下において PCD と鋼材の組み合わせによる耐焼き付き性の評価と、GMO による摩擦係数への影響を確認し、PCD の軸受け材としてのポテンシャルを明らかにすることを目的とする。

2. 試料及び実験方法

耐焼き付き性の評価と、接点の温度の解析にアムスラー試験機を用い、ブロックオンリング方式で評価を行った。試料は PCD (トーメイダイヤ製 10BDD) ブロック (5×7×8mm) と S35C リング ($\phi 40 \times 10\text{mm}$) を用いた。また、比較用として SCM440 ブロック/S35C リング、SCM440 に ta-C 膜を成膜したブロック/S35C リング、従来品相当として SCM420 ブロック/リン青銅リングでも試験を行った。また、試験中にブロック摺動面から 1mm 及び 3mm 位置にある穴にシース熱電対を挿入し 2 カ所の温度を計測することで、接点の温度とブロックに流れる熱流束を外挿した。試験条件は油種 PAO2 (100°C動粘度 2cst)，油温 140°C，荷重 23kgf，回転速度 100rpm から 10 分後ごとに 100rpm ずつ加速し、最大回転数を 700rpm として、焼付いた時点での回転数を用いて耐焼き付き性を評価した。

GMO による影響調査にピンオンディスク方式の摩擦試験を行った。試験試料は SUJ2 ピン ($\phi 5 \times 5\text{mm}$, Rq 0.047μm) と PCD ディスク ($\phi 31.1\text{mm}$, Rq 1.680μm) を用い、比較用として SUJ2 ディスクと SUJ2 に ta-C を製膜したディスクでも試験を行った。試験条件は油種 PAO2 及び PAO+GMO1.0wt%，荷重 10kgf，回転数 30rpm，試験時間 180min，油温 100°Cで行った。試験後にレーザー顕微鏡 (オリンパス OLS4000-SAT) による形態観察を行った。

3. 結果及び考察

焼付き試験中の接点温度の推移を Fig.1 に示す。SCM420/S35C や SCM420/リン青銅の組合せは試験開始直後に焼付きが発生した。ta-C 膜/S35C の組合せは 300rpm で焼付きが発生した。これに対し、PCD は 700rpm でも焼付きは発生しなかった。試験後の PCD と ta-C 膜のレーザー顕微鏡写真を Fig.2 に示す。ta-C 膜は既に大半が摩滅または剥離し、基材の露出と相手材の凝着が認められたが、PCD では摩耗等の損傷がほとんど見当たらず、一部、ダイヤモンド粒子間に相手材の移着が認められた。

接点の温度で比較した場合、PCD は ta-C 膜の基材である鋼よりも熱伝導率が大幅に高いにもかかわらず、高い値を示した。Fig.3 に、ブロック 2 点間を流れる回転数 100rpm での熱流束値を示す。PCD は ta-C に比べ、ブロックに流れる熱流束値が圧倒的に高い。これは接点での発熱量が多いためと考えられ、PAO2 潤滑下においては、ta-C 膜に対して相手材の移着等により摩擦係数が高かったためと考えている。

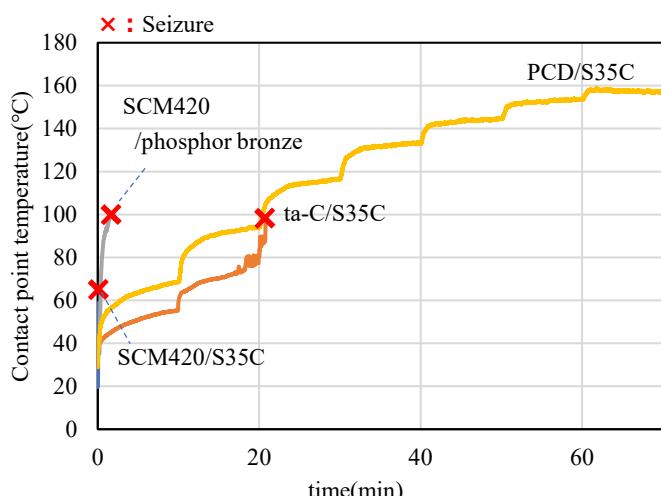
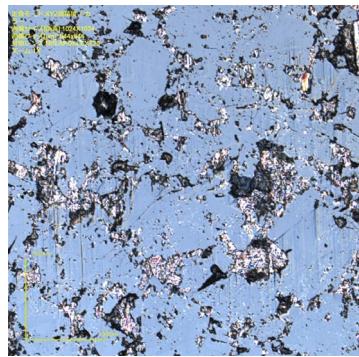
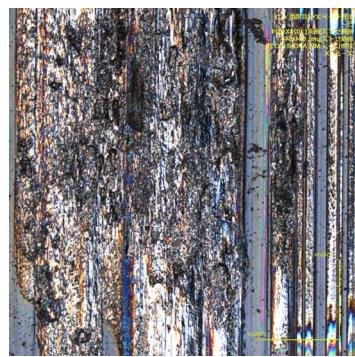


Fig.1 Contact point temperature during seizure test



PCD block



ta-C block

Fig.2 Laser micrographs of samples after test

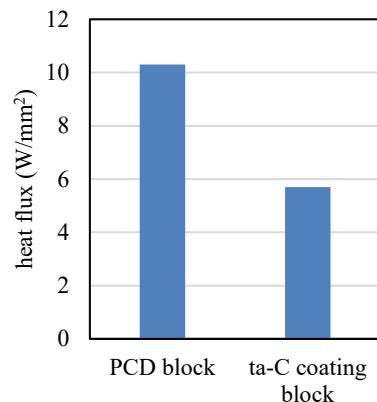


Fig.3 Block heat flux at 100 rpm

摩擦試験結果を Fig.4 に示す。また試験後の PCD のレーザー顕微鏡による摺動部の観察結果を Fig.5 に示す。SUJ2 に対し、GMO を添加した PAO2 での ta-C の摩擦係数は 1/3 であった。PCD は PAO2 潤滑下では、試験開始後急激に摩擦係数が上昇し、SUJ2 よりも高い摩擦係数となり試験を停止した。試験後の摺動部には、焼付き試験と同様に、相手材の移着が粒界部に認められた。一方、GMO を添加した場合では、摩擦係数は初期から低く安定し、試験末期にやや上昇するものの、ta-C 並みの低い摩擦係数を示し、試験後の摺動部には相手材の移着も認められなかった。GMO がダイヤモンド粒子表面に吸着し、ダイヤモンドと鋼の直接接触を抑えることで、相手材の移着を抑えたと考えられる。

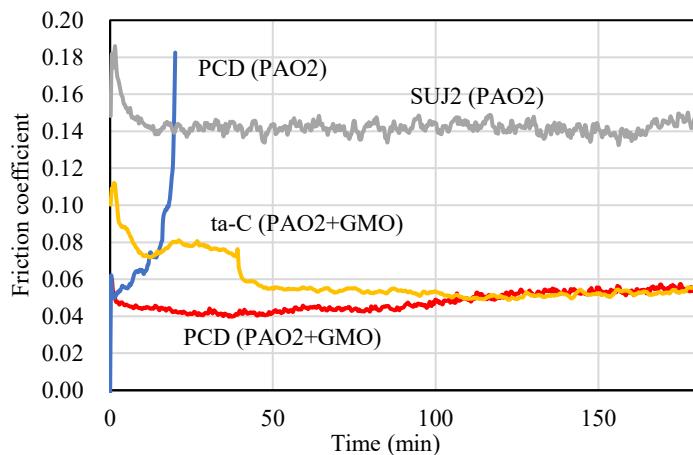
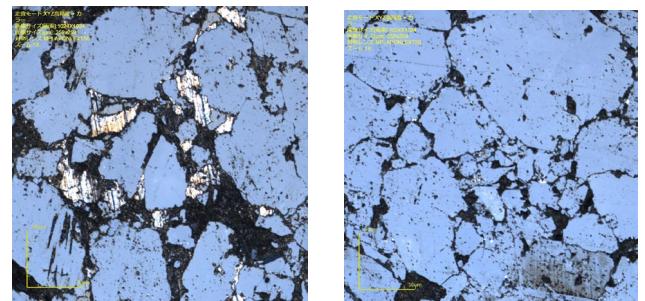


Fig.4 Friction test results.



PCD (PAO2) PCD (PAO2+GMO)

Fig.5 Laser micrographs of PCD disks after test.

4. 結言

PCD を用いた耐焼付き性評価及び熱解析、GMO 添加による摩擦評価により以下の知見を得た。

- (1) PAO2 潤滑下の焼付き試験において、PCD/S35C の組合せは、SCM420/S35C や SCM420/リン青銅、ta-C/S35C に対し、著しく高い耐焼付き性を示した。しかし高い熱伝導率にも拘らず、接点の温度は鋼基材の ta-C 膜よりも高い値を示した。
- (2) PAO2 潤滑下では摩擦試験においても PCD は試験後の摺動部に相手材の移着が認められ、摩擦係数は急激に増大したが、潤滑油に GMO を添加することで相手材の移着が抑制され、摩擦係数は ta-C 膜並みの低い摩擦係数を示した。

文献

- 1) オグラ宝石精機工業(株)HP、<http://www.ogura-indus.co.jp/technology/pcd.php>
- 2) M. Kano ら, Ultralow friction of DLC in presence of glycerol mono-oleate (GNO), Tribology Letters, Volume 18, pages 245–251, (2005).
- 3) J.F. Archard, The temperature of rubbing surfaces Die Temperatur gleitender Oberflächen, Wear, Volume2, Issue6, October 1959, Pages 438-455.