

摺動部接点温度に着目した高熱伝導ダイヤモンド焼結体の耐焼き付き性解析

Analysis of seizure resistance of thermally conductive diamond sintered materials focusing on
the contact point temperature of sliding parts

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 中田 あゆ美 大森 和宏

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

Ayumi Nakada***, Kazuhiro Omori***

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

1. 緒言

地球温暖化対策や脱炭素への取り組みとして、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ている。これにより、軸受け材料への負荷が高まっており、現在エンジン用すべり軸受けの材料として主に用いられている銅合金やアルミ合金は、耐焼き付き性の観点から限界に近付いている。そのため、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。一方、焼き付きの発生を抑制する方法として、接点の温度を軸受け材料の融点に達しない範囲に抑えることが重要である。そこで、熱伝導率の高いダイヤモンド焼結体(PCD)に着目した。PCD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]、バルク体のため剥離や摩滅の恐れがなく、熱伝導率は鋼材の50W/mK以下を大きく上回る700W/mK級の仕様もある。

先行研究^[2]では、鋼とta-C膜とPCDの耐焼き付き性の比較を行い、PCDの耐焼き付き性がta-C膜より高いことを示した。一方で、焼き付き発生を目的とした厳しい条件の試験のためPCD表層への鋼材の凝着が発生し、鋼・鋼間の摺動となつたため、PCDの高い熱伝導率による接点の温度低減効果を確認することができなかった。

そこで本研究は、凝着の生じないマイルドな潤滑条件での試験を行い、PCDを含む各材料の組み合わせで、熱伝導率が接点温度に及ぼす影響を明らかにし、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

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。試験装置概略図をFig.1に示す。ブロック上部治具を循環水で冷却するフィッシュフック条件で試験を行った。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か所の温度を計測することで摺動部接点温度とブロックに流れる熱流束を外挿し、予測式^[3]から算出した接点温度との比較や解析を行った。予測式では材料の物性(熱伝導率、密度、熱容量、ヤング率)と試験条件、接触面積、摩擦係数をパラメータに用いている。また、本試験装置は試験中の摩擦係数を測定できないため、便宜的に0.1として算出した。試料はPCD(トーメイダイヤ製10BDD, 10TMS)(熱伝導率10BDD:462W/mK, 10TMS:727W/mK)ブロック(5×7×8mm)と、比較用のSCM420と純アルミニウムにta-C膜を成膜したブロックを、リング(Φ40×10mm)にS35Cを用いた。試験は油種PAO4(100°C動粘度4cst)、油温100°C、冷却水温度50°C、荷重20kgfを固定条件とし、負荷として回転速度50rpmから10分毎に50rpmずつ加速し、最大回転数を200rpmとした。

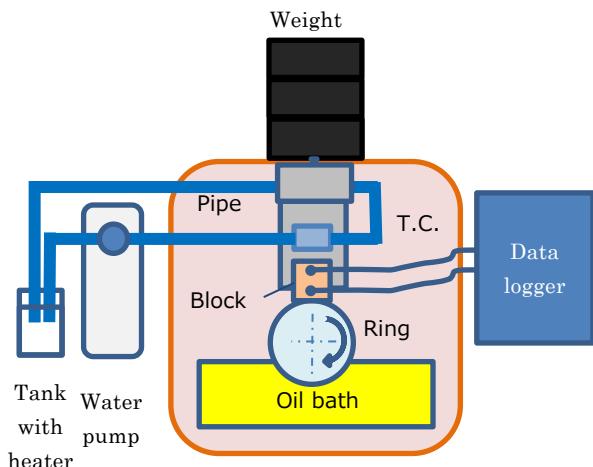


Fig.1 Schematic diagram of test equipment.

3. 結果及び考察

試験中の接点温度の推移をFig.2に示す。試験中の接点温度は低い順に10TMS, 10BDD, Al+ta-C膜, SCM420+ta-C膜だった。これは熱伝導率の序列と一致しており、高熱伝導材料を用いることで抜熱性が向上することを示している。Fig.3に本研究で使用した予測式を示す。式(1)より、熱拡散率kは、熱伝導率Kと密度ρ、比熱容量Cで表され、式(2)より、kからペクレ数Lが求まる。式(3)より、ブロックの熱伝導率K₁、リングの熱伝導率K₂、Lから摺動部で発生した熱のブロック側に流れる熱分配率式αが求まる。式(4)より、接点温度上昇ΔT_mは摺動による発熱量QとK₁、K₂、式(2)のL、式(3)のαを用いて表される。ブロック熱伝導率K₁が高いと、式(4)の分母が大きくなるため、接点温度上昇ΔT_mは小さくなる。

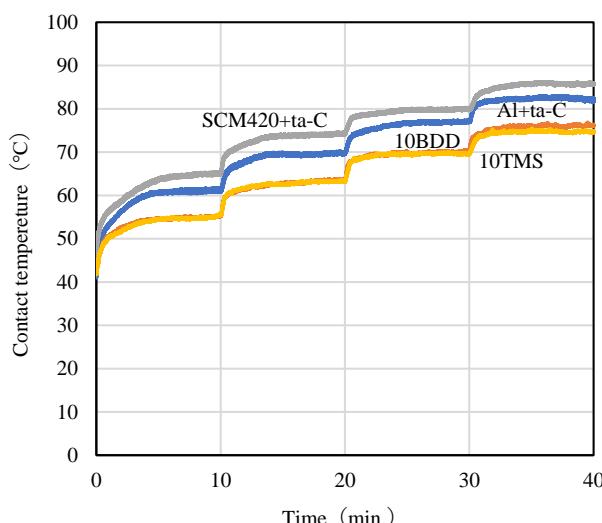


Fig.2 Contact temperature during test.

$$k = \frac{K}{\rho \cdot C} \quad (1)$$

$$L = u \cdot \frac{a}{2k} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{K_1}{K_1 + 0.94K_2/\sqrt{L}} \quad (3)$$

$$\Delta Tm = \frac{0.254 Q}{(K_1\sqrt{L} + 0.94K_2) \alpha} \quad (4)$$

k : Thermal diffusivity
 K : Thermal conductivity
 ρ : density
 C : Specific thermal capacity
 L : Peclet number
 u : sliding speed
 a : contact radius
 ΔTm : Contact temperature rise
 a : heat distribution coefficient
 K_1 : Thermal conductivity of block
 K_2 : Thermal conductivity of ring
 Q : Heat value

Fig.3 Prediction formula

予測式から算出した各組合せの接点温度上昇値 ΔTm と熱伝導率の関係を Fig.4 に示す。この予測式は熱伝導率以外の物性も影響因子として考慮しているが、熱伝導率が高いほど、 ΔTm は小さい値を示した。200rpm での接点温度 T の実測値と計算から算出した接点温度上昇 ΔTm の予測値、及び相対比較のため SCM420+ta-C 膜を基準とした場合のそれぞれの差分 (Gap) を Table1 に示す。実測による SCM+ta-C 膜に対する T の低減代は Al+ta-C 膜で 3.8°C であるのに対し、10BDD では 9.5°C と、PCD による接点温度低減効果は大きかった。また、10TMS ではその差は 10.7°C に拡大したものの、熱伝導率に対しその効果はやや減衰する傾向であった。一方、計算により算出した SCM420+ta-C 膜との ΔTm の Gap は、実測値と良い一致を示した。本試験における PCD による接点温度 T の低減効果は高い熱伝導率が主要因と考えられる。

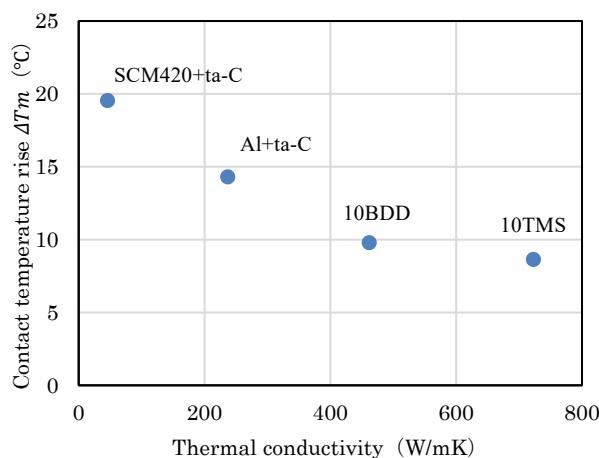


Fig.4 Contact point temperature rise calculated from the prediction formula

Table1 Contact temperature and calculated Contact temperature rise at 200rpm and gap from SCM420+ta-C (°C)

	Contact temperature T	Gap from SCM420	Calculated Contact temperature Rise ΔTm	Gap From SCM420
SCM420+ta-C	85.6	0	19.5	0
Al+ta-C	81.8	-3.8	14.3	-5.2
10BDD	76.2	-9.5	9.8	-9.8
10TMS	74.9	-10.7	8.6	-10.9

4. 結言

PCD を用いた摺動試験による接点温度評価及び予測式との比較により以下の知見を得た。

- (1) PAO4 潤滑下の試験において、PCD/S35C の組合せは、SCM440+ta-C 膜/S35C や Al+ta-C 膜/S35C に対し、接点温度が大きく低減し、10TMS (727W/mK) は 10BDD (427W/mK) よりも低減した。
- (2) 試験中の接点温度の SCM420+ta-C 膜との差は予測式から算出した接点温度上昇差と良い一致を示した。

文献

- 1) オグラ宝石精機工業(株)HP, <http://www.ogura-indus.co.jp/technology/pcd.php>
- 2) 小野ら、トライボロジーカンファレンス 2024 春東京, 220–221.
- 3) J.F. Archard, Wear, Volume2, Issue6, October 1959, Pages 438-455.