

耐焼付き性に及ぼす表面形状の影響

Effect of surface shape on seizure resistance

福井大・工（正）*本田 知己 福井大・工（院）小西 隆翔 福井大・工（正）今 智彦

Tomomi Honda*, Ryuto Konishi*, Tomohiko Kon*

*University of Fukui

1. 緒言

近年、自動車のCO₂排出量削減のため、エンジンの小型化やエンジンオイルの低粘度化が行われている。しかし、その排反事象としてピストンリングとシリンダーライナ間では面圧の増加や油膜形成能力の低下などにより、摺動部の潤滑状態は過酷化し、焼付き発生の危険性が高まっている⁽¹⁾。そのため、このような環境に耐え得る摺動部の表面設計が求められており、耐焼付き性の向上に有効な表面改質技術として表面に微細な凹凸を付与する表面テクスチャリングが注目されている。しかし、付与するテクスチャや表面のマクロな形状と耐焼付き性との関係性は未解明であり、摺動環境や目的に応じたテクスチャの設計手法は確立されていない⁽²⁾。また、焼付き現象自体に関する研究が不十分であることも課題として挙げられる。そこで、本報では、AC8Aアルミニウム合金とSUJ2軸受鋼の組み合わせによる潤滑摩耗試験を行い、試験片形状が焼付き特性に及ぼす影響について調べた。その結果、摺動面の面積や摺動面形状により焼付き特性は変化し、摩擦熱とその冷却能のバランスにより耐焼付き性を説明できることを示した。

2. 試験方法および供試材料

試験装置の概略を図1に示す。本研究では潤滑油中で回転するリング試験片に、プレート試験片を任意の荷重で押しつけて摩擦させるリングオンプレート方式でなじみ・焼付き試験を行った。低荷重状態から摩擦摩耗試験を開始し、一定の速度で連続的に負荷を増加させる方式で試験を実施した。試験条件を表1に示す。Test 1では負荷速度を0.03 MPa/sとし、なじみ過程での負荷を1.7 MPaとする一定面圧負荷速度試験を行い、Test 2では負荷速度を5 N/sとし、なじみ過程での負荷を300 Nとする一定荷重負荷速度試験を行った。

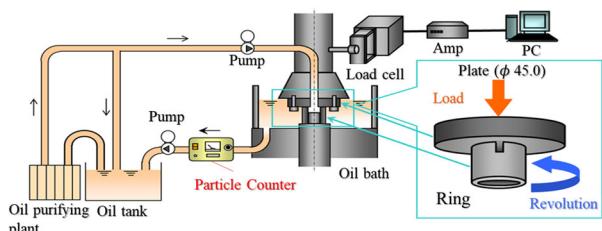


Fig. 1 Schematic of wear test apparatus

Table 1 Test conditions

| | Test 1 | Test 2 |
|---|-------------------------|--------|
| Contact pressure, MPa (Load, N) | 1.7 MPa | 300 N |
| Sliding velocity, m/s | 2.0 | |
| Sliding distance, m | 5000 | |
| Flow velocity, mL/min | 300 | |
| Lubricating oil | Base oil (non-additive) | |
| Oil temperature, °C | 60 (±2) | |
| Kinematic viscosity, mm ² /s | 14.98@60 °C | |

リング試験片にAC8Aアルミニウム合金、プレート試験片にSUJ2軸受鋼を用いて摩擦試験を行った。試験片形状を図2に、摺動面の各パラメータを表2に示す。摺動面の形状が異なる5種類のリング試験片(A~E)を用いて試験を行った。摺動面積以外にもスリットの幅や数、摺動幅の影響を考慮できる形状とした。



Fig. 2 Specimen shapes

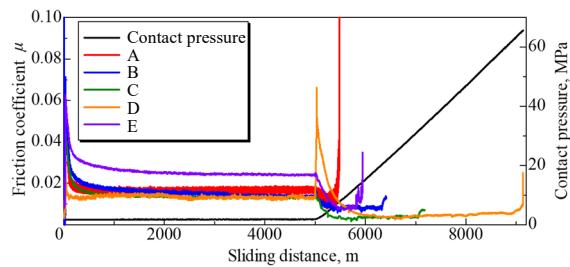
Table 2 Surface shape parameters

| | A | B | C | D | E |
|-------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| Sliding area, mm ² | 286 | 270 | 178 | 87 | 178 |
| Sliding width, mm | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2.8 |
| Slit width, mm | 2.0 | 2.0 | 7.7 | 13.4 | 2.0 |
| Number of slits | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 |

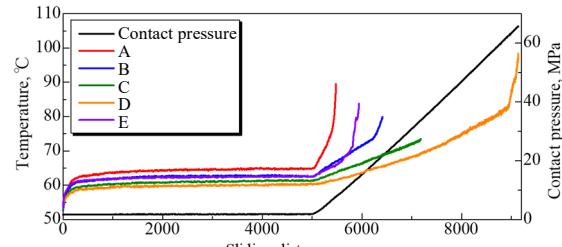
3. 試験結果

3.1 各種センサデータの比較

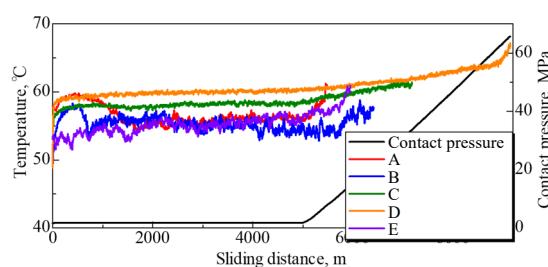
本試験では、試験片温度と摩擦係数が急上昇した地点を焼付きと判断し、試験を終了した。Test 1(負荷速度 0.03MPa/s)におけるすべり距離に伴う摩擦係数、試験片温度、排出油温度、接触電気抵抗を図 3 に、Test 2(負荷速度 5N/s)におけるすべり距離に伴う摩擦係数、試験片温度、排出油温度、接触電気抵抗を図 4 に示す。なじみ過程における各試験片の摩擦係数の推移を見ると、Test 1, Test 2 ともに摺動面積が小さい場合では摩擦係数も小さくなる傾向が見られた。接触電気抵抗の値はなじみ過程では非接触時に近い値であることから流体潤滑状態であると考えられ、潤滑油の粘性抵抗が摺動面積の減少に伴い低下したと推察される。Test 1 における各試験片の焼付き面圧を比較すると、A, E, B, C, D の順に焼付き面圧が高くなつた。試験片温度も同様の順で上昇しており、焼付きと温度上昇に高い関係性があることがわかる。一方で概算された発熱量が実際の試験片温度の傾向と一致しないことから放熱過程に差があると推察し、排出油温度に着目した。試験片温度の上昇が遅い試験片 C や試験片 D は排出油温度が高い傾向がみられた。これらの温度推移はスリットの幅や数と関係があることから、スリットの付与により表面積および潤滑油流路が増加し冷却が促進されたと考えられ、スリットの幅と数が耐焼付き性に大きく影響を及ぼすことが示された。また、スリットの幅と数が同じである試験片 B と試験片 E を比較するとすべり距離 6000 m の手前では温度推移、摩擦係数が同じであるがその後試験片 E のみ接触電気抵抗が低下し、それに伴い試験片温度、摩擦係数も増加し焼付きに至つた。試験片 E は試験片 B と比較して摺動幅、摺動面積が小さいことから、これらのパラメータの減少が摺動面からの潤滑油流出に繋がり潤滑状態の悪化を招いたと推察した。



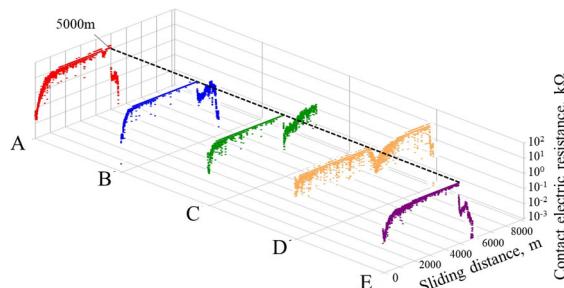
(a) Friction coefficient



(b) Specimen temperature

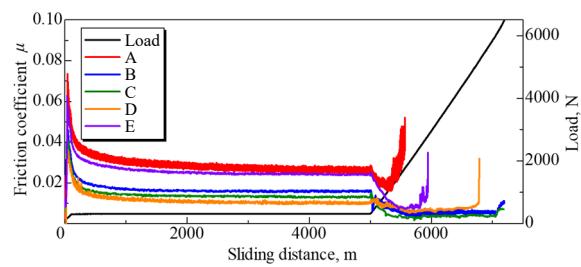


(c) Discharged lubricant temperature

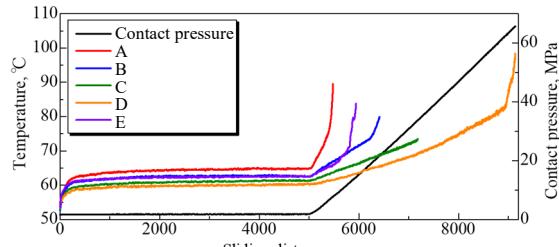


(d) Contact electric resistance

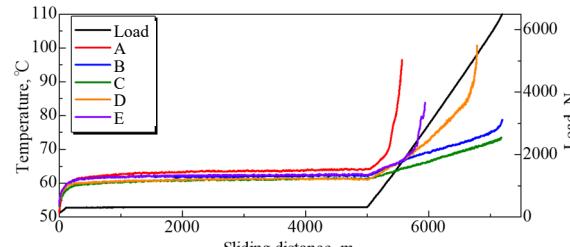
Fig. 3 Variation of sensor data 【Test 1】



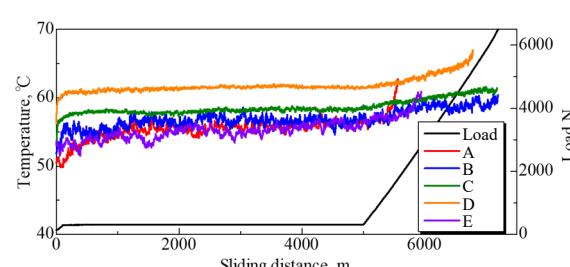
(a) Friction coefficient



(b) Specimen temperature



(c) Discharged lubricant temperature



(d) Contact electric resistance

Fig. 4 Variation of sensor data 【Test 2】

Test 2における各試験片の焼付き荷重を比較すると、A, E, D, B, Cの順に焼付きに至り、Test 1において高い耐焼付き性が見られた試験片Dの焼付き荷重は大きく低下する結果となった。これは、負荷面圧の増加が要因であると考えられ、スリット面積の増加による冷却効果などのメリットも一定以上になると面圧増加によるデメリットが上回ることが示された。試験片Bを基準として考えた場合、摺動面積が2/3程度の試験片Cまではメリットが優位であり、摺動面積が1/3程度の試験片Dではデメリットが優位となった。

以上の結果から、凹みやスリットの付与による摺動面積の減少は粘性抵抗の低下、潤滑油による冷却を促進し耐焼付き性の向上に寄与すること、その一方で潤滑油の流出、面圧の増加による耐焼付き性の低下にも繋がることが示唆された。

3.2 摩耗面観察

Test 1における焼付き試験後のリング試験片Aとプレート試験片の摩耗面のレーザ顕微鏡画像を図5に示す。リング試験片には図中に赤枠で示したような摩耗粉によるものと思われる流線形の痕跡が観察され、このような痕跡は特に試験片Aの摩耗面に顕著にみられた。試験片Aは他の試験片と比較して最もスリット数が少ない。つまり、スリットが摩耗粉の排出機能を有しており、スリットが少ない試験片Aでは2面間に介在する摩耗粉を十分に排出できなかったと考えられる。また、試験片Aは焼付き荷重が他の試験片と比較して最も低いことから、スリットの減少による摩耗粉排出効果の低下がアブレシブ摩耗を頻回に発生させ、耐焼付き性低下の一因になったと推察される。以上のことから、摺動面上の凹みやスリットが摺動面積に対して十分な面積を有する場合、摩耗粉の排出効果が期待でき、耐焼付き性の向上に寄与することが示唆された。

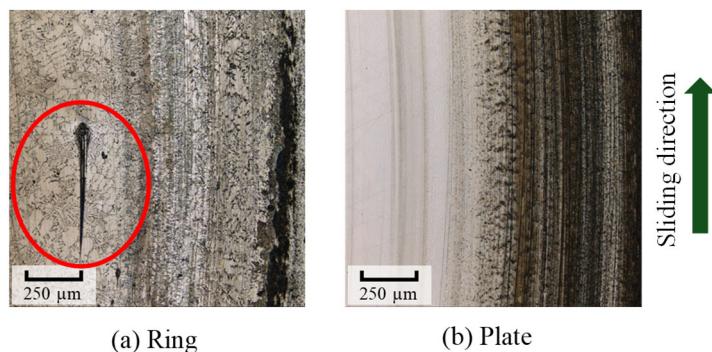


Fig. 5 LM images of ring and plate

4. 結言

- (1) 耐焼付き性を向上させるためには、試験片温度の上昇を抑える表面テクスチャの設計が重要である。
- (2) 表面形状が深く開放度が高い場合は、表面積および潤滑油経路が増加するため潤滑油による冷却効果と摩耗粉の捕集効果が期待できる一方で、流体動圧効果の低下による油膜破断が懸念される。

参考文献

- (1) 梅原徳次：機械の省エネルギーに貢献する低摩擦化技術、トライボロジスト、Vol. 57, No.12 (2012), pp. 802-807.
- (2) 八木和行：テクスチャ表面が生み出す流体潤滑作用、トライボロジスト、Vol. 60, No. 4 (2015), pp. 249-254.