

面接触下でのアルミニウム合金の焼付き過程のその場観察

In situ observation of scuffing process of aluminum alloy under conformal contacts

九州大・工（学）*田中 大輝 九州大・工（正）八木 和行

Hiroki Tanaka*, Kazuyuki Yagi*

*Kyushu University

1. はじめに

近年、世界全体で自動車のEV化を行う勢いが鈍化する中、再度内燃機関の効率向上に注目が集まっている。⁽¹⁾効率向上の施策として、部品の軽量化や小型化、潤滑油の低粘度化が進められているが、金属面同士の直接接触が生じやすくなる油膜切れの発生頻度が上昇し、過大摩耗や焼付き発生の危険性が懸念される。⁽²⁾そこで本研究では実際に自動車内のクランクシャフトで発生するアルミニウム合金の焼付き過程を調べることを目的とする。実験方法としてはサファイアディスクとアルミニウム製のピンからなる摩擦試験を行い、可視光画像から焼付きが発生するまでの摩擦面の変化過程を調べる。

2. 実験方法

本研究では潤滑面のような観察可能なピンオンディスク型試験機を用いて焼付き試験を行った。潤滑面は上部に位置する回転サファイアディスクと、直径 4 mm の平坦なすべり軸受用アルミニウム合金製ピンから構成される。荷重は空気圧シリンダにより付与しピンを押し上げてサファイアディスクに接触させる。潤滑油はオイルポンプで潤滑面に供給される。試験機上部には試験中に潤滑面をサファイアディスク越しに撮影するためにテレセントリックレンズとカメラが設置されている。

使用潤滑油については、摩擦調整剤である MoDTC や耐摩耗剤である ZDDP など各種添加剤を含む 0W-8 相当のエンジンオイルを使用した。給油温度は 80 °C に設定した。実験条件についてはすべり速度を 3 m/s 一定とし、荷重については毎分 500 N ずつ上昇させ、焼付きが発生するまで試験を行った。このほか、焼付き発生前の表面分析を行うことを目的として同一の運転条件で終了荷重を 3,000 N、6,000 N とした試験を別途行った。試験後には SEM やラマン分光機を用いて表面分析を行った。

3. 実験結果

3.1 摩擦係数

図 1 に試験開始から焼付き発生までの摩擦係数の変化を示す。荷重が 500 N から 2,500 N までの低荷重域では摩擦係数が安定せず、上下変動しながら上昇した。その後荷重を上げると摩擦係数の低下が生じて値が 0.02 程で安定した。最終的に 7,000 N の荷重をかけた際に火花の発生と同時に摩擦係数が 0.08 程度まで跳ね上がり、焼付きが生じた。

3.2 潤滑面その場観察画像

図 2 に試験開始から 2,500 N までの低荷重域でのピン表面の様子、図 3 に荷重を 2,500 N から 6,000 N まで増加させた際のピン表面の観察画像を示す。低荷重域においてピンの入口部から摩擦面が広がり、2,500 N の荷重をかけた際にはピン全体で荷重を受けている様子が観察された。その後、摩耗粉が摩擦面に溜まり荷重を支えることでピンのディスク内側と外側は摩耗しない様子が観察された。また、3,000 N の荷重をかけた時点からピンが押しつぶされてピン表面が広がった。

図 4 に焼付き発生の前後のピン表面の観察画像を示す。再度摩耗が進み、ピン全体が摩擦面となった。その後、前兆なくピンのディスク外側から火花が発生し、内側に向かって流れるように火花が広がる様子が観察された。続いて火花がピン全体を覆うように広がり、試験後には出口側にピンが伸ばされていた。図 5 と図 6 にそれぞれ試験で荷重を 3000 N、6000 N まで上昇さ

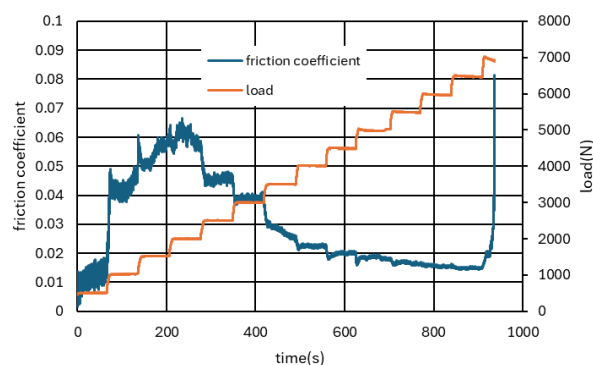


Fig. 1 Variations in friction coefficient during scuffing test

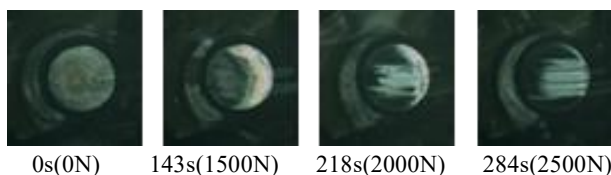


Fig. 2 Transition of contact area at low load range

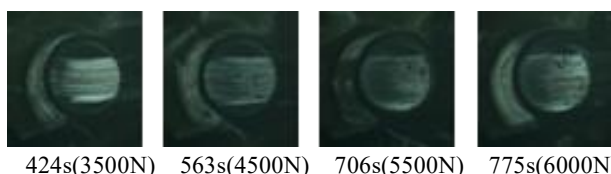


Fig. 3 Transition of contact area low load to scuffing

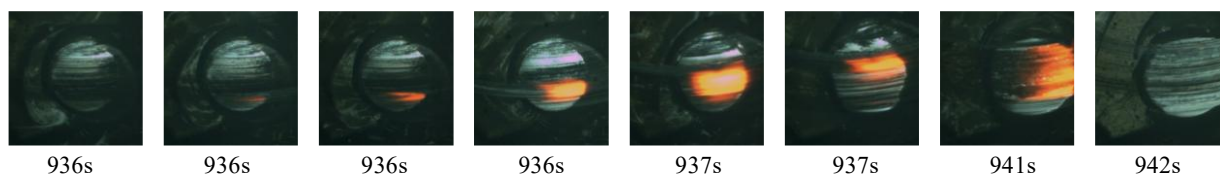


Fig. 4 Transition of contact area during occurrence of scuffing

せて実験を終了し、ピンをラマン分光機で分析を行った結果を示す。荷重を 3,000 N まで上昇させたピン表面に関しては表面に図 6 中の矢印で示されている二硫化モリブデンのスペクトルが観測されたのに対して、荷重を 6,000 N まで上昇させたピン表面からは二硫化モリブデンのスペクトルが観測されなかった。

図 7 にそれぞれ荷重を 6,000 N まで上昇させ、焼付き前に試験を終了させた後のピン表面と、焼付き試験終了後のピン表面を EDS で表面分析した結果を示す。荷重を 6,000 N まで上昇させたピン表面については、アルミニウムの元素が観測されたのに対して、焼付き試験終了後のピン表面にはアルミニウムが観測されず、主に鉄が検出された。

4. 考察

摩擦試験開始直後では、ピンとディスクが片当たりしていることで摩擦係数が高く安定しなかったと考えた。またその後、摩擦係数が荷重の増加につれて低減したことは、荷重の増加と試験の進行に伴って摩擦面が馴らされ、面圧が低下したことが影響したと考えられる。

表面分析結果から低荷重域に関しては二硫化モリブデンの反応膜がピン表面に形成された後、摩擦試験を進める中で膜が剥がれ、表面の摩耗が進む中で最終的に焼付きが発生すると考えられる。

また、試験終了時にピン表面からアルミニウムが観測されず、下地の鉄が観測されたが、荷重を 6,000N まで上昇させたピン表面を同様に EDS で表面分析した結果、アルミニウムが表面に観

測されたため本試験では焼付き直前までアルミニウムが表面に存在していたと考えられる。

5. おわりに

6.

本研究はアルミニウム合金の焼付き過程の解明を目的に行い、得られた結論は以下の通りである。

- ・アルミニウム合金に荷重が作用した際に高面圧による変形および摩耗によって摩擦面が広がり、面圧が低下することで摩擦係数の低減が生じた。
- ・試験開始後、ピン表面に化学表面膜が形成された。しかしその後荷重が上昇することで境界膜が剥がれ、焼付きが生じた際にアルミニウム合金が剥がれ、下地の鋼が現れた。

文献

- 1) 国際エネルギー機関, 「Global EV Outlook 2024」, IEA, 2024.
- 2) 遠山 裕治, ほか, 「低摩擦ガソリンエンジン油 —低粘度化と摩擦調整剤の効果—」, トヨタ技術, vol. 64, no. 3, p.35-42, 2015.

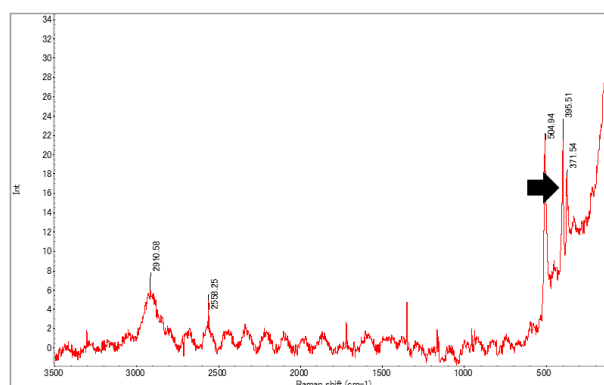


Fig. 5 Raman spectroscopic analysis in the low load range

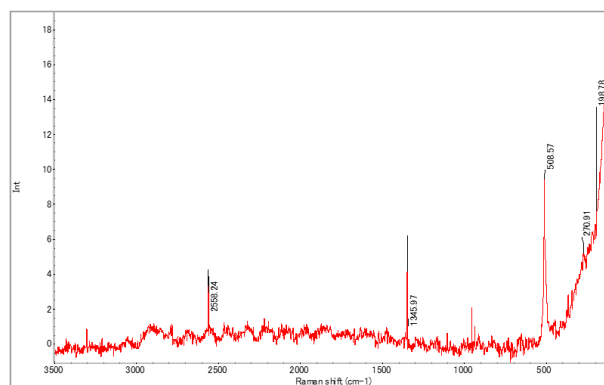
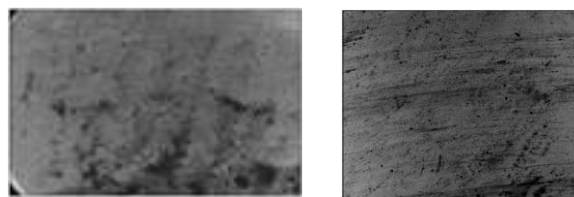


Fig. 6 Raman spectroscopic analysis before scuffing



SEM EDS	Wt%	At%	SEM EDS	Wt%	At%
C	23.30	41.86	C	6.92	25.04
O	6.75	9.10	Al	3.03	4.87
Zn	4.63	1.53	Fe	90.06	70.09
Al	46.93	37.53			
Si	4.03	3.09			
P	3.27	2.28			
S	2.33	1.57			
Sn	4.71	0.86			
Ca	4.06	2.19			

(a) Surface at W = 6,000 N (b) Surface after scuffing

Fig. 7 EDS analysis results of aluminum alloy pin surfaces