

潤滑剤からの水素発生に及ぼす基油の影響
Effects of Base Oils on Hydrogen Generation from Lubricants

NSK（正）*江波 翔 NSK（正）名取 理嗣 NSK（正）小俣 弘樹 NSK（正）山田 紘樹
アフトンケミカル・ジャパン（非）高西 知広 アフトンケミカル・ジャパン（正）田中 修一郎
Kakeru Enami*, Masahide Natori*, Hiroki Komata*, Hiroki Yamada*, Tomohiro Takanishi**, Shuichiro Tanaka**
*NSK Ltd., **Afton Chemical Japan Corporation

1. 緒言

転がり軸受のはく離形態の一つに鋼中に特異な白色組織変化を伴うはく離がある。本はく離は潤滑剤の分解により発生した水素が鋼中に侵入することで生じると考えられている¹⁾。軸受の信頼性向上のためには、はく離に至るまでの過程を理解する必要がある、軸受使用時の水素発生メカニズムを明らかにすることが重要である。そこで筆者らは、転がりすべり接触下における潤滑剤からの水素発生に及ぼす潤滑条件の影響を調べてきた²⁾。その際、潤滑剤には特定の一種類の潤滑油を用いたが、潤滑剤の種類が異なれば、その水素発生特性も異なることが予想される。これまでに真空環境下において水素発生に及ぼす基油の影響が明らかにされている³⁾。転がり軸受が使用される典型的な雰囲気は大気（空気）であることから、大気中における潤滑剤の水素発生特性を理解することは重要である。よって本報では、大気環境下での水素発生に及ぼす基油の影響を調べたので報告する。

2. 実験

2.1 基油

実験に用いた基油を Table 1 に示す。基油は API 規格に基づき選定した。Group V の基油として、Group I から Group III のパラフィン系鉱油との比較からナフテン系鉱油を用いた。また既報²⁾では白色組織が再現される潤滑剤としてトラクション油を用いたため、本報でもトラクション油を Group V の基油として選定した。なお、水素発生に及ぼす基油単体の影響を調べるため、添加剤の添加は行っていない。

2.2 実験装置

本報では 2 円筒試験機を用いた。実験中に発生するガスを貯蔵するため、2 円筒試験は密閉チャンバ内で実施した。試験機を構成する回転軸はモータにより独立して駆動させることができる。荷重は所定の面圧になるようにエアシリンダを用いて負荷される。一定量の潤滑剤がチャンバ内に封入され、潤滑剤の温度は熱電対とヒータにより制御される。また、密閉チャンバには圧力計が設置されており、実験中のチャンバ内圧力を測定できる。チャンバ内の雰囲気中の水素ガス濃度はガスクロマトグラフを用いて測定される。試験機の詳細は既報²⁾を参照されたい。

2.3 実験条件

基油からの水素発生量を評価するにあたり、加熱実験と転がりすべり接触下での実験の二つを行った。前者は熱の影響による水素発生を調べるためであり、後者は転がりすべりの影響による水素発生を調べるためである。実験条件を Table 2 に示す。試験片には表面粗さ Ra を $0.07\mu\text{m}$ に仕上げた SUJ2 製試験片を使用した。チャンバ内の雰囲気は大気（空気）であり、20 h の実験を行った後にチャンバ内の水素量をガスクロマトグラフにより測定した。

3. 結果および考察

基油の加熱実験により発生した水素の測定結果を Fig. 1 に示す。加熱実験では、実験に用いた基油を交換することなく繰返し複数回の実験を実施した。Group I および Group II に属する基油では数 ppm 程度の水素が安定して発生した。一方で Group III から Group V に属する基油は、繰返し実験をするごとに水素発生量が増加していき安定した値を示さなかった。最終的にはガスクロマトグラフの検出限界を超えるほどの水素が発生した。基油種により熱による水素発生特性が異なることが分かった。

ここで炭化水素の酸化の開始反応において、炭化水素から水素ラジカルが生成すると考えられている⁴⁾。つまり、基油の加熱による水素発生は基油の酸化に起因している可能性がある。チャンバ内の空気を構成する酸素が基油の酸化により消費されると考え、チャンバ内圧力を測定した。各基油のチャンバ内圧力（ゲージ圧）の推移を Fig. 2 に示す。

Table 1 Base oils

Group	I	II	III	IV	V	V
Type	Mineral oil (Paraffinic)	Mineral oil (Paraffinic)	Mineral oil (Paraffinic)	PAO	Mineral oil (Naphthenic)	Traction oil
Density, g/cm ³	0.871	0.856	0.841	0.827	0.923	0.890
KV40, mm ² /s	29.9	29.9	32.3	31.0	30.7	19.0
KV100, mm ² /s	5.20	5.40	5.96	5.80	4.30	3.50
VI	102	116	132	132	-17	-43

Table 2 Test conditions

Test	Heating	Rolling-sliding
Temperature, °C	90	90
Contact pressure, GPa	-	2.3
Entrainment speed, m/s	-	1.6
Sliding speed, m/s	-	1.3
Environmental gas	Air	Air

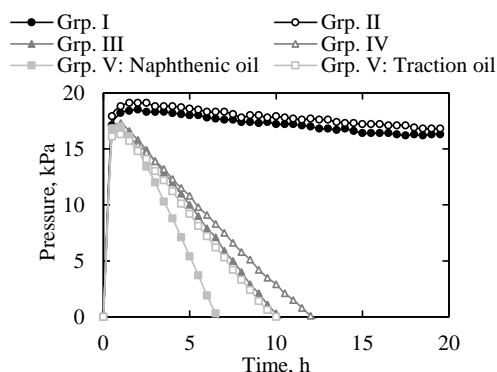


Fig. 2 Gauge pressure in chamber

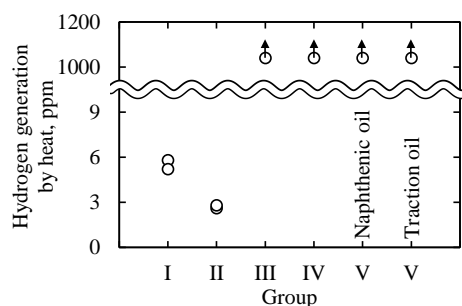


Fig. 1 Hydrogen generation by heat

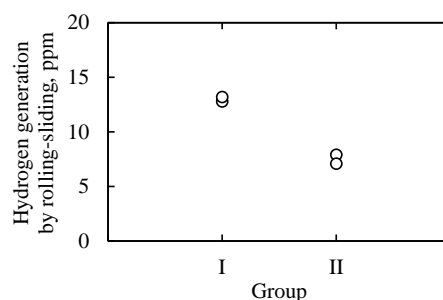


Fig. 3 Hydrogen generation by rolling-sliding



Fig. 4 Surface profiles of specimens tested with base oils from (a) Group I and (b) Group II

いずれの基油においても実験初期は空気の熱膨張によりチャンバ内圧力は上昇している。しかし、実験進行に伴う圧力の低下のされ方は基油により異なる。Group I および Group II の基油では、圧力は緩やかに低下している。一方、他の Group に属する基油では圧力が早期に低下している。空気中の酸素が消費され、基油の酸化が進行したと考えられる。すなわち Group III から Group V においては、基油の酸化により多量の水素が発生したことが示唆される。API 規格上、Group I の基油は、他の Group と比べ不純物として硫黄成分が多く含まれている。これまでに油中に天然に存在する硫黄化合物が酸化防止能を有することが示されている⁵⁾。よって、Group I に属する基油の酸化安定度は Group III から Group V に属する基油に比べ高かったと考えられる。酸化の進行が抑制されたため、熱による水素発生が少なかったと推察される。Group II の基油でも硫黄成分が完全に除去されておらず、水素発生が少なかったと予想される。

次に既報²⁾と同様に、転がりすべり接触下での水素発生量から熱の影響で基油から発生した水素量を差し引くことで、転がりすべりを付与したことにより接触面から発生した水素量を求めた。その結果を Fig. 3 に示す。Group III から Group V に属する基油は熱による水素発生が発散したため、転がりすべりによる水素発生を求めることができなかった。Group I に属する基油の方が Group II に属する基油より転がりすべりによる水素発生は多い。各基油で実験した従動側試験片の表面プロファイルを図 4 に示す。Group I の基油で実験した試験片の方が摩耗量が多い。高温高面圧下の油膜形成状態に Group I と Group II で差異があった可能性がある。水素発生には金属新生面が影響すると考えられており、Group I においては摩耗により露出する新生面が基油からの水素発生を促進したことが示唆される。

4. 結言

本報で対象にした基油において、酸化しやすい基油は熱の影響による水素発生が多いことが示唆された。また、転がりすべりの影響による水素発生は接触表面の摩耗に起因する新生面露出により促進される可能性がある。いくつかの基油においては熱による水素発生が発散したことから、水素発生に及ぼす基油の影響を十分に評価できなかった。基油の酸化安定度を向上させることで、水素発生に及ぼす基油の影響をより詳細に評価できると考えられる。今後は酸化防止剤を添加した基油を用いて実験を行っていく。

文献

- 1) 宇山：転がり軸受に及ぼす水素の影響，トライボロジスト，60，10 (2015) 658.
- 2) 江波・山田・小俣：転がりすべり接触下における潤滑剤からの水素発生，トライボロジスト，68，12 (2023) 868.
- 3) M. Kohara, T. Kawamura, M. Egami: Study on mechanism of hydrogen generation from lubricants, Tribology Transactions, 49, 1 (2006) 53.
- 4) 日本トライボロジー学会：メンテナンストライボロジー，養賢堂 (2006) 117.
- 5) G. H. Denison Jr: Oxidation of lubricating oils, Industrial & Engineering Chemistry, 36, 5 (1944) 477.