

転動体の延命化実現に向けた潤滑油添加剤の効果検証

Effect of Lubricant Additives on Rolling Contact Fatigue Life

三菱重工（正）*木場 理佐子 三菱重工（正）矢野 昭彦

三菱重工（正）竹内 博晃 三菱重工（非）諫山 秀一

Risako Koba, Akihiko Yano, Hiroaki Takeuchi, Shuichi Isayama

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1. 緒言

機械製品の転がり軸受や歯車などの機械要素に初期損傷が生じた場合、フレーキングに至るまでの寿命を延長できれば、設備投資やメンテナンスコスト低減に繋がる。寿命を延長させるための一般的な手法として、潤滑油の粘度向上、転動体の作用面圧低減など、製品の出力に関係するパラメータを調整することが挙げられるが、製品スペックの低下を伴う。また、新品状態からフレーキングに至るまでの寿命延長に効果はあるが、初期損傷からフレーキングに至るまでの延命効果については明らかではない。その他の手法として、潤滑油にリン系や硫黄系の添加材を用いることにより、機械要素に対する延命効果が明らかにされている^{1,2)}。この場合、製品スペックは低下させずに済むが、き裂進展を抑制する効果の有無は明確に確認されていない。本研究では、初期損傷のうち表面起点のき裂を設けた転動体を対象とし、2種類のナノ粒子を潤滑油に添加することで、フレーキングに至るまでの延命が可能であるか実験的に検証した。

2. 試験装置および試験条件

転動体の初期損傷発生からフレーキングに至るまでの延命効果を確認するため、本試験ではスラストころ軸受のころに初期損傷を発生させたものを供試体として、試験を実施する。試験装置の概略をFig. 1に示す。装置下部の駆動用モータにより軸軌道盤を回転させ、上部アームの先端におもりを載せることで供試体に荷重を負荷する構造である。また、ハウジング軌道盤と連結するレバーに加速度センサを設置し、フレーキング発生時の振動を検出する。まず、軸軌道盤にブロスト処理を行ったものを使用して一定時間の回転試験を行い、ころに初期損傷を発生させる。その後、軸軌道盤を新品に交換し、潤滑油に添加剤を混入することで、初期損傷からフレーキングに至るまでの延命効果確認試験を行う。試験条件をTable 1に示す。潤滑油にはギヤ油を用いており、添加剤は2種類のナノ粒子を混合する。Test 1では添加剤を混合せず潤滑油のみでの基準試験を行い、Test 2, Test 3で添加剤を混合することによる延命効果を検証する。Test 2とTest 3の違いは、2種類のナノ粒子を添加する順序である。Test 2では、添加材AおよびBを同時に添加し、Test 3では添加剤Aを先に、添加剤Bを一定時間経過後に添加する。

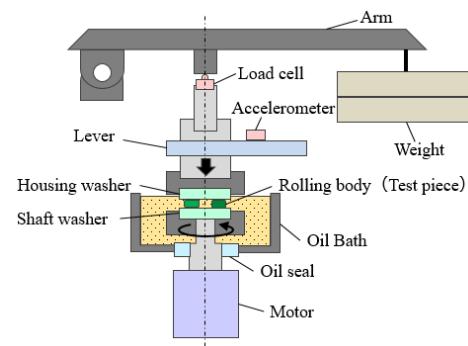


Fig. 1 Testing apparatus

Table 1 Test conditions

Item	Test 1	Test 2	Test 3
Oil		Gear Oil (VG320)	
Additive	-	A, B	A, B
Remarks	-	Add A and B same time	Add A at first, then B

3. 試験結果

Test 1に対するTest 2, Test 3それぞれの寿命倍率をFig. 2に示す。Test 1に対し、添加剤を混合したTest 2, Test 3の寿命倍率はそれぞれ1.6倍、5.6倍となった。また、Test 2とTest 3を比較すると、添加剤混入の順序に差を設けたTest 3の方がより延命効果が得られた。試験後のき裂内部の成分分析結果をFig. 3に示す。添加剤A, B共にき裂内部に入り込んでいる様子が見られることから、ナノ粒子がき裂に入り込むことによって延命効果が現れたと推定する。また、添加剤の混入順序に差を設けることにより延命効果に差が現れたことから、混入順序についても延命効果に関係するパラメータであることが分かった。

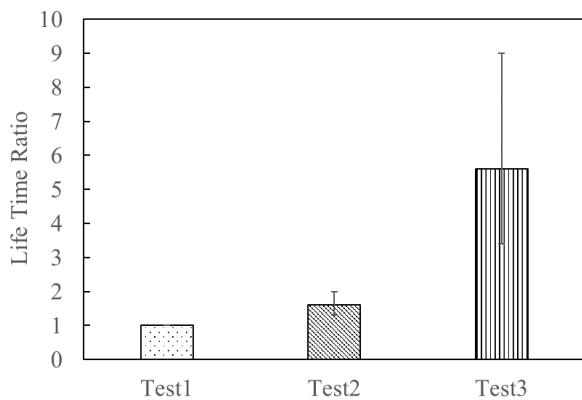


Fig. 2 Life time ratio of rolling fatigue life

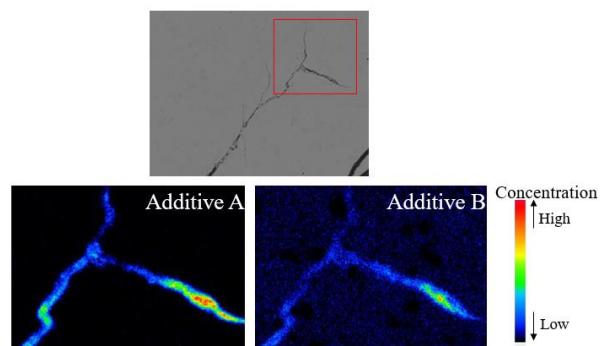


Fig. 3 FE-EPMA analysis results

4. 考察

今回着目した添加剤の効果は、初期損傷が発生した転動体あるいは軌道輪のき裂の中に入り込み、き裂を封止することであると推定する。添加剤 A は高密度および高硬度なナノ粒子であり、き裂内部に入り込むことで、転動体通過に伴い生じる油膜圧力がき裂内部に作用するのを防止し、さらに、Fig. 4 に示すように弾性変形を抑制することにより、き裂開閉時の応力振幅を低減させる効果があると考える。また、添加剤 B は、被膜の形成と、粒子同士を結合させ、粒子をき裂内に滞留させる接着剤のような役割をする特徴がある。よって、これら 2 種類の添加剤の相乗効果により、初期損傷発生からフレーキングに至るまでの延命効果が発現したと考える。また、混入順序が異なる Test 2 と Test 3 で延命効果に差が現れた要因としては、ナノ粒子の充填率の差であることが考えられる。Test 2, Test 3 の試験後のき裂断面イメージ図を Fig. 5 に示す。添加剤 A は B より粒径が約 100 倍大きいため、同時に添加した Test 2 では、添加剤 A よりも粒径および密度の小さい添加剤 B が優先的にき裂の中に充填され、添加剤 A の充填率が低くなっていると考える。Test 3 では、先に粒径が大きい添加剤 A を入れたため、添加剤 A がき裂に入り込み、そのすき間を埋めるように後から入れた添加剤 B が入り込むことで、き裂内のナノ粒子の密度を高くでき、より寿命を延長できたと考えられる。

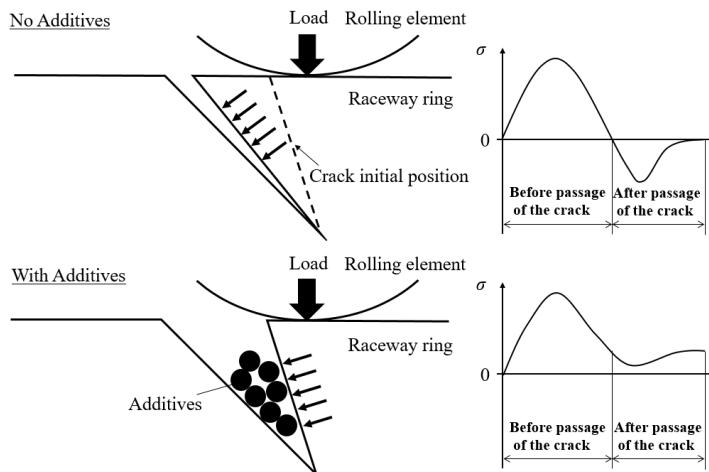


Fig. 4 Schematic diagram of stress amplitude reduction by nanoscale particles

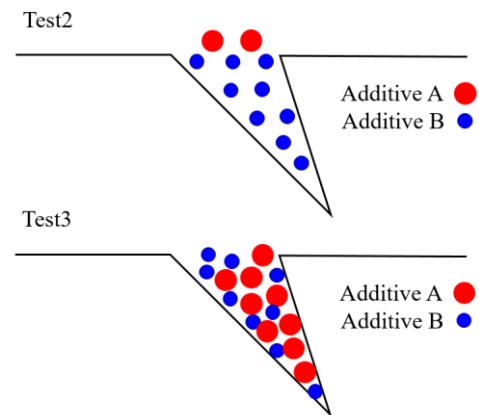


Fig. 5 Additive penetration into cracks

5. まとめ

本研究では、初期損傷を設けた転動体に対して、2 種類のナノ粒子を添加することにより、フレーキングに至るまでの延命が可能であるか実験的に検証を行った。ナノ粒子を添加することで、潤滑油単体時の寿命よりも延長されることが確認された。その延命メカニズムは、ナノ粒子がき裂に入り込み、き裂を封止することによって油圧による開口作用やき裂開閉時の応力低減によるものであると考えた。また、添加剤の粒径および密度に対応した混入順序を設定することで、より寿命を延長できることが分かった。

文献

- 1) 白濱・宮島・岡村：転がり疲れに及ぼすリン系添加剤の影響、トライボロジスト, 46, 7 (2001) 564.
- 2) 白濱・中村：転がり疲れに及ぼす硫黄系添加剤の影響、トライボロジスト, 46, 7 (2001) 571