

AE 測定法を用いたポリマー添加剤による耐焼付き性向上現象のメカニズム解析

Analysis on Improvement of Seizure Resistance for Polymer Type Additive with AE Measurement

EMGL (正) *森田 美穂 EMGL (非) 立山 翔大 EMGL (正) 小野寺 康

埼玉工大 (正) 長谷 亜蘭

Miho Morita*, Shodai Tachiyama*, Ko Onodera*, Alan Hase**

*EMG Lubricants Godo Kaisha, **Saitama Institute of Technology

1. 緒言

アコースティックエミッション (acoustic emission, AE) は、固体の変形・破壊の際に生じる弾性波である。摩擦界面の摩擦・摩耗過程で生じる AE 信号の計測により、摩擦界面状態のインプロセスでの診断および評価が行われている¹⁾。しゅう動下で計測される AE 信号には、摩擦・摩耗現象に密接な情報が多く含まれており、筆者らは摩擦・摩耗に及ぼす添加剤作用メカニズムを AE 法を用いて解析してきた²⁾。

近年、低燃費化のために油の低粘度化が進められたことで油膜が薄くなり、しゅう動表面に損傷、特に焼付き現象を引き起こす可能性が高まっている。これまで検討されてきた焼付き防止剤のみならず、最近のポリマー添加剤技術の発展により、ポリマー添加剤を適用することで油膜形成を促し、その信頼性を確保することが期待されている。しかしながら、ポリマー添加剤に着目して、その信頼性に及ぼす影響を AE 法を用いて解析した例はみられていない。そこで本報では、ポリマー添加剤である粘度指数向上剤 (viscosity modifier, VM) に着目し、焼付き試験における AE 信号を測定することで、ポリマー添加剤が耐焼付き性向上に寄与するメカニズムを検討した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置、試験条件および計測システム

本研究で使用した試験部の概要を Fig. 1 に示す。焼付き試験には、リング・オン・ディスク試験機を用いた。リング試験片・ディスク試験片ともに SCM420 を使用した。試験条件として、すべり速度 1.0 m/s、油温は室温成り行き、油量は 100 mL、荷重を 250 N から開始して 1 分毎に 250 N ずつ step-up するように設定し、トルクが 7 N・m を超えたところを焼付きと判定して試験を終了させた。

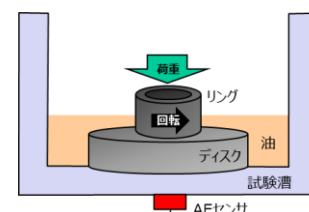


Fig. 1 Experimental setup

しゅう動部での摩擦・焼付きにより生じる AE 信号を検出するために、AE センサ (広帯域型) を試験槽の裏側に取付けた。AE センサからの出力信号は、プリアンプおよびメインアンプによって総合利得で 60dB の増幅を行った。また、ノイズ除去の目的で 100 kHz のハイパスフィルタ処理を行っている。AE 信号は、AE 平均値電圧により評価した。AE 平均値電圧は、時々刻々と変化する AE 信号の振幅値である。AE 信号原波形の周波数解析を実施して各周波数スペクトルの経時変化を整理し、焼付き荷重・摩擦特性と添加剤処方と併せて考えられる現象を考察した。なお今回、周波数解析は 1 分間維持している各荷重における 30 秒時点のデータで代表した。

2.2 試料油

試料油の構成を Table 1 に示す。基油としては Gr.III 基油を用いた。低粘度基油 (Low vis. BO)・高粘度基油 (High vis. BO) と、低粘度基油にポリマー添加剤として PMA 系の VM を添加した VM 添加油 (Low vis. BO with VM) の 3 種類の試料油の評価を行った。

Table 1 Sample formulations

Sample	Low vis.BO	High vis.BO	Low vis. BO with VM
Base oil	Low vis.	High vis.	Low vis.
(Gr. III)	High vis.	Low vis.	High vis.
VM			✓ (net amount of 5 mass%)
KV40, mm ² /s	9	41	12

3. 実験結果

3.1 摩擦特性・焼付き荷重

各試料油の摩擦特性・焼付き荷重を Fig. 2 に示す。焼付き荷重について、基油は粘度が高い方の耐焼付き性が良好となった。摩擦特性は、いずれの試料油も試験開始後から徐々に摩擦係数が下がり、最終的に急激な摩擦係数の上昇に伴い焼付いた。また、低粘度基油と VM 添加油を比較すると、VM 添加油の耐焼付き性が良好な結果となった。

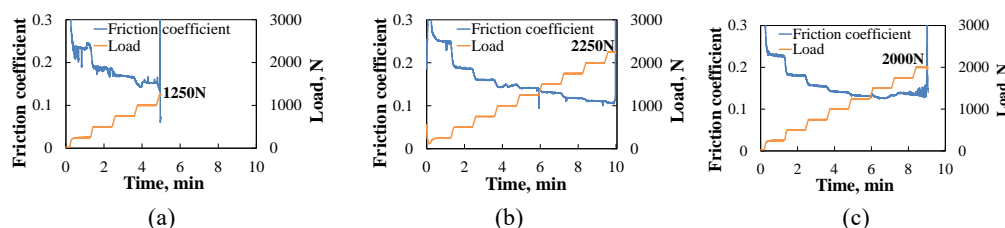


Fig. 2 Friction coefficient and seizure load:
(a) Low vis. BO; (b) High vis. BO; and (c) Low vis. BO with VM

3.2 AE 測定結果

Fig. 3 に AE 平均値電圧の推移・AE 周波数解析結果を示す。AE 平均値電圧はしゅう動材の変形・破壊の大きさを示し、周波数スペクトルは AE 発生源に関係する。特に、表面突起間接触により 0.05 ～0.2 MHz 付近、塑性変形により 0.2 ～0.5 MHz 付近、掘り起こし摩耗により 0.5 ～1.0 MHz 付近に発生する周波数ピークが現れる。さらに、起きている現象の時間的変化を解析するために、周波数解析における (a) 0.1 MHz 付近のピーク（低周波ピーク）、(b) 0.25 MHz 付近のピーク（中周波ピーク）、(c) 0.63 MHz 付近のピーク（高周波ピーク）の強度の推移を算出して Fig. 4 に整理した。

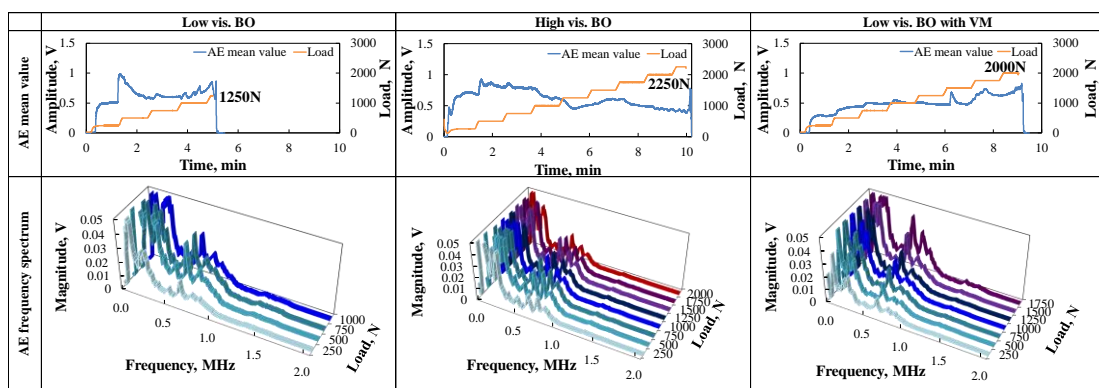


Fig. 3 AE mean value and frequency spectrum during the test

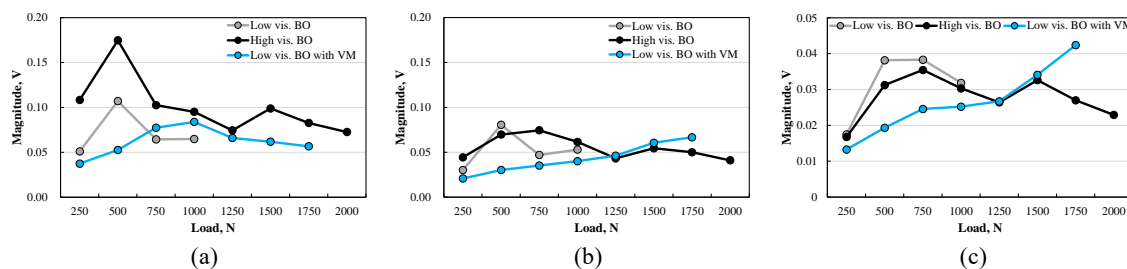


Fig. 4 Specific peak top value of 30 sec after step start at each load:

(a) Peak top of approx. 0.1 MHz; (b) Peak top of approx. 0.25 MHz; and (c) Peak top of approx. 0.63 MHz

低粘度・高粘度基油ともに 1000 N 以下の低荷重時は VM 添加油と比べて終始 AE 平均値電圧が大きく、特に初期の 250 N・500 N と焼付き時に高い値となった。高粘度基油は 500 N で AE 平均値電圧の最大を迎えた後 1250 N にかけて徐々に減少した。一方、VM 添加油は初期の 250 N・500 N の AE 平均値電圧が低く、試験全体を通じて試験開始直後から焼付きまで徐々に信号値が上昇した。

周波数スペクトル強度に関して、低粘度・高粘度基油ともに低周波ピークが 250 N から 500 N で急激に上昇した後、750 N 以降は低い値を保持した。中・高周波ピークについて、低粘度基油は 500 N で最大値となったのに対して、高粘度基油は 750 N で最大値となった。VM 添加油の低周波ピークは、基油のみの試料油と比較して低い値を維持した。一方、中・高周波ピークは試験開始直後から徐々に強度が上昇し、1500 N 以上で高粘度基油よりも高い値となった。

4. 考察

今回の結果から、基油粘度が高いほど、また、VM を添加した場合に焼付き荷重が大きくなったが、その違いは摩擦係数からは見ることはできなかった。一方、AE 平均値電圧および周波数スペクトルにおいては有意な差がみられ、それらについて以下の通り考察した。

基油のみの試料油に関して、低周波ピークについては 500 N での信号強度が大きく、その後減少して値が低く一定となっていた。これは、試験片の初期粗さの影響が大きい試験初期では、表面突起間の接触が多くなり、その後なじみにより真実接触の頻度が下がったためと考える。中・高周波ピークについて、低粘度基油では 500 N で最も大きい値となっているのに対して、高粘度基油は 750 N で最も大きい値に達することから、高粘度化により油膜が厚くなることにより、塑性変形や掘り起こし摩耗の進行が抑えられたと推察する。

一方、VM 添加油における低周波ピークについて、基油のみの試料油と比較して試験を通じて低い値を維持していることから、しゅう動部の表面突起間に VM が入り込むことで真実接触を防いでいると考えられる。また、中・高周波ピークについては、荷重の上昇とともに徐々に信号強度が大きくなっていることから、VM により表面突起間の接触は抑制されるものの、面圧の上昇に伴い徐々に塑性変形と掘り起こし摩耗が進行して最終的な焼付きに至ったことが推察される。

以上の考察から、VM を添加することで真実接触の頻度が抑制され、耐焼付き性を向上させるためのメカニズムを解明する足掛かりをつかむことができた。

参考文献

- 1) A. Hase: Early Detection and Identification of Fatigue Damage in Thrust Ball Bearings by an Acoustic Emission Technique, Lubricants, Vol.8 (2020) 37.
- 2) 森田・立山・小野寺・佐藤・長谷：AE 測定法を用いた S 系・P 系添加剤の反応解析（第 2 報）—添加剤反応と摩耗進行メカニズムの検討—，トライボロジー会議 2021 春 東京，(2021) 223.