

MSE 法によるすべり軸受の評価法の開発

Development of Evaluation Method for Plain Bearings by MSE Method

大豊工業（正）*新美 拓也 大豊工業（正）神谷 周 福井大（非）福間 慎治

福井大（正）高澤 拓也 福井大（正）岩井 善郎

Takuya Niimi*, Shu Kamiya*, Shinji Fukuma**, Takuya Takazawa**, Yoshiro Iwai**

*TAIHO KOGYO CO., LTD., **University of Fukui

1. はじめに

ディーゼルエンジンでは燃費効率向上のための高筒内圧化が進んでおり、その対応としてエンジン軸受では高耐疲労性の樹脂コーティングが開発されている。樹脂コーティングの耐疲労性は、エンジンの負荷荷重を想定した往復動荷重軸受試験機で評価される。樹脂コーティングは高サイクル疲労が発生するため、評価に非常に時間が掛かる。そこで、微小な固体粒子の投射によるエロージョン摩耗の表面形状変化を高分解能で計測して、材料の表面と深さ方向の機械的強さの微妙な違いや変化を評価できるマイクロスラリージェットエロージョン表面強度評価法(MSE)及びMSE で得られた機械的強さを情報工学との融合による内部の強さに基づく微細構造可視化技術(i-MSE 法)¹⁾に注目し、樹脂コーティングの耐疲労性評価への適用の可能性を検討した。

2. MSE 試験および i-MSE 法

Figure 1 は MSE の原理とエロージョン痕の形状測定の概略である。MSE ガン内部でスラリーと圧縮空気が混合され、ノズルより高速投射が行われる。スラリーは水と微小固体粒子の混合液で、水はスラリーの流量の制御、試料面での洗浄、冷却の役割を担う。ノズル投射面積は $1 \times 1 \text{ mm}^2$ の正方形で、投射速度は最大約 100 m/s になる²⁾。標準 MSE 試験条件で使用する粒径 $1.2 \mu\text{m}$ の多角形状アルミナ粒子（1 個の質量はピコグラム）による損傷深さは小さいが、粒子衝突数はおよそ 100 億個/秒で、大量の粒子衝突により短時間でエロージョンが進行するので材料の強さの加速試験が可能になる。i-MSE 法は、トライボロジーと情報工学との融合により、MSE 試験による投射面の断面形状曲線の大量のデジタルデータから局所エロージョン進展速度を算出して描画（レンダリング）し、材料内部の強さの分布に基づく微細構造をカラーマップ画像として可視化する手法（innovative MSE(i-MSE 法)）である。詳細は文献³⁾を参照頂きたい。

3. 供試材

Figure 2 に銅合金軸受上に施された樹脂コーティングの断面を示す。樹脂コーティングはプライマー層と微細な固体潤滑剤を樹脂でバインドした層の 2 層構造であり、総膜厚は $10 \sim 20 \mu\text{m}$ である。供試材としては、軸受単体の疲労試験で疲労破壊が生じた試料と生じていない試料の 2 つの供試材を準備した。なお、2 つの供試材の樹脂コーティングは、成分に違いはなく、製造条件を一部変更している。疲労破壊が生じた試料では、疲労試験においてコーティングとプライマー層の層間でコーティングの破壊が生じている。

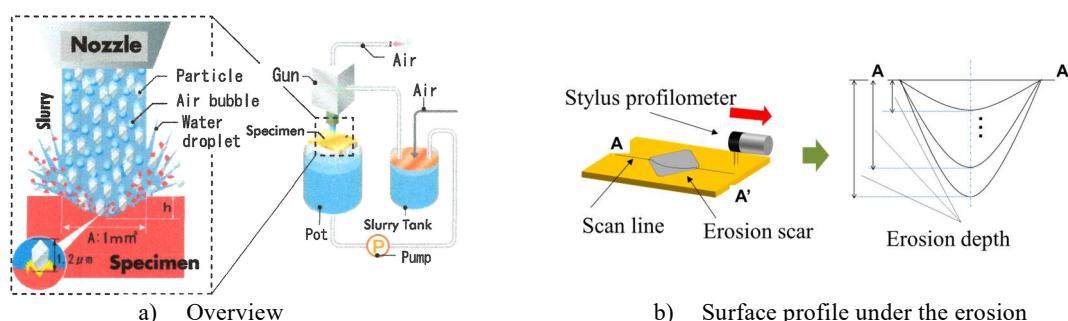


Fig. 1 Principles of MSE test and measurement

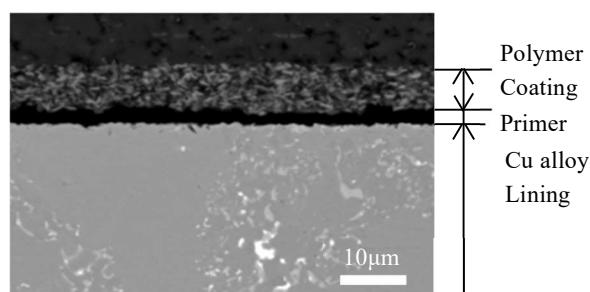


Fig. 2 Cross section structure of polymer coat

4. 試験結果

4.1 MSE 試験と可視化処理(i-MSE 法)

各試料の MSE 試験では、一定量のスラリー（粒子）投射毎にエロージョン痕の断面プロファイルを取得し、それらを重ね合わせ、エロージョン痕の最大深さ位置（中央部）での深さ（エロージョン深さ）の変化曲線（エロージョン曲線）を求めた。Figure 3 に表面からの深さと各深さ位置でのエロージョン曲線から得られるエロージョン率の関係を示す。疲労試験で疲労破壊が生じていない試料（Fig.3a）は樹脂コーティング層内のエロージョン率は深さ方向に 1.4 から $1.0 \mu\text{m}/\text{g}$ に緩やかに減少する。プライマー層内のエロージョン率の変動も小さい。また、樹脂コーティング層とプライマー層の界面のエロージョン率は $0.7 \mu\text{m}/\text{g}$ で一定の値を示した。一方、疲労破壊が生じた試料（Fig.3b）は、樹脂コーティング層内のエロージョン率は深さ方向に 1.3 から $0.7 \mu\text{m}/\text{g}$ に緩やかに減少し、さらにプライマー層との近傍でエロージョン率の大きな変動が確認された。また、プライマー層のエロージョン率は $0.7 \mu\text{m}/\text{g}$ で、樹脂コーティング層内と同様に大きな変動が見られた。疲労破壊が生じた試料のエロージョン痕の中央部分の幅 $200 \mu\text{m}$ 領域について局所エロージョン速度を算出し、レンダリングした可視化画像を Fig.4 に示す。カラーマップは緑や青ほどエロージョン速度が速いことを示しており、プライマー層の界面付近に局所的にエロージョン速度が速い領域が存在する。

4.2 考察

Figure 5 に供試材の MSE 試験面近傍の未試験部の断面 SEM 写真を示す。疲労破壊が生じていない試料（Fig.5a）は樹脂コーティング層とプライマー層の境界が明瞭であり、樹脂コーティング層内の固体潤滑剤が均一に分散されている。一方、疲労破壊が生じた試料（Fig.5b）は樹脂コーティング層がプライマー層へ入り込んでおり、違いが観察された。そこで、プライマー層近傍の樹脂コーティング内の固体潤滑剤の分散状態の違いを確認するために、画像処理を用いて固体潤滑剤の割合を算出した。固体潤滑剤の算出結果を Fig.6 に示す。疲労破壊が生じた試料は、疲労破壊が生じていない試料に比べ、プライマー層界面近傍の固体潤滑剤の割合が増減している。これらの結果から、疲労破壊が生じた試料では、プライマー層界面近傍の樹脂コーティング層内に固体潤滑剤の凝集による強度の低い部分が存在し、疲労破壊が生じたと考えられる。MSE 評価によるエロージョン率が高い領域と樹脂コーティング層内の固体潤滑剤の凝集部が一致しており、MSE 評価の耐疲労性評価適用の可能性が示唆された。

5. まとめ

- MSE 法により、すべり軸受樹脂コーティングの疲労試験で生じる疲労破壊がプライマー層への固体潤滑剤の入り込みによる局所的な強度低下と相関することが分かった。また、i-MSE 法により樹脂コート層内の機械的強さに基づく微細構造の可視化が可能であり、得られた画像は SEM 画像と類似していることが分かった。
- すべり軸受樹脂コートの評価に MSE 法および i-MSE 法を適用するで、従来の往復動荷重軸受試験に比べ評価精度・信頼性ならびに評価時間を飛躍的に向上させる優位性があり、軸受開発スピード向上に繋がるものと考えている。

文献

- 岩井・福間・高澤：i-MSE 法を用いた各種コーティング膜の界面強さ分布の可視化技術, トライボロジー会議 2024 春東京,B9,pp.100-101
- Y.Iwai et al.:Development of a new type micro slurry jet erosion (MSE)teser for evaluation of wear properties of hard thin Coatings, Lubrication Science,21(6)2009, pp213-226
- S. FUKUMA, Y. IWAI, S. MORI: i-MSE: A Fine Structure Imaging for Surface and Its Inside of Solid Material with Micro Slurry-jet Erosion Test, IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E106-A, 2023 Nov., pp. 1376-1384

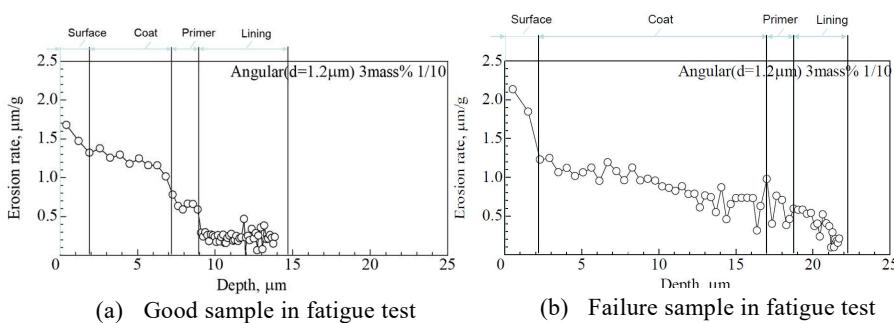


Fig. 3 Depth vs. Erosion rate

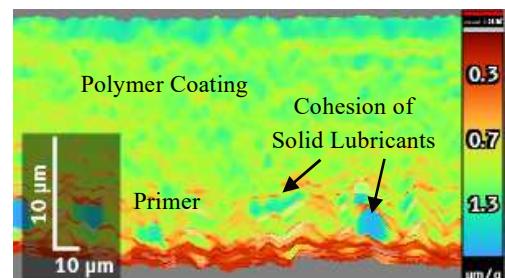
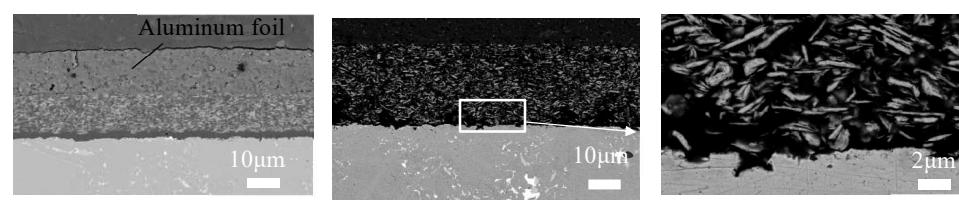


Fig. 4 i-MSE image of Polymer coating



(a) Good sample in fatigue test (b) Failure sample in fatigue test
Fig.5 Cross-section of sample after MSE test

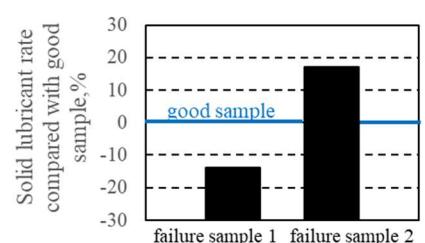


Fig.6 Solid lubricant rate in failure sample compared with good sample