

ボールベアリングの内輪転動面直下と摩耗粉の粒径との関係 —油中粒子計測器による計測—

Relationship Between the Particle Size of Debris and the Just Under the Rolling Surface of Ball Bearings
- Particle Measurement in Oil-

東陽テクニカ/東京電機大（正）*松本 謙司 東陽テクニカ（非）古賀 秀晴 東京電機大（非）清水 康夫

Kenji Matsumoto*/**, Hideharu Koga*, Yasuo Shimizu**

*Toyo Corporation, **Tokyo Denki University

1. はじめに

潤滑油に含まれる粒子を計測する事でしゅう動状態を把握し、故障の予知につなげる研究が進んでいる。安定した運転状態(定常摩耗)でも摩耗粉は放出されている。この定常状態であるか危険な状態であるかの判断は粒子径を絞る事で、可能になり、故障予知の精度は更に向上すると思われる。そこで、初期なじみが終わり、定常摩耗に移行したしゅう動面に着目、その際、放出される摩耗粉がどのように生成され、放出されると予想される粒子径の確認を実施した。

手法は①ボールベアリング試験機を用いて定常摩耗に達する試験を実施②表面観察では損傷が確認されない転動面直下(～数 μm)の金属組織を観察。③FIB(Focused Ion Beam)にて内輪側から TEM(Transmission Electron Microscope)試料を切出す④切り出した TEM 試料を TEM にて詳細に観察し、金属組織の変化を確認した。

2. ボールベアリング試験方法

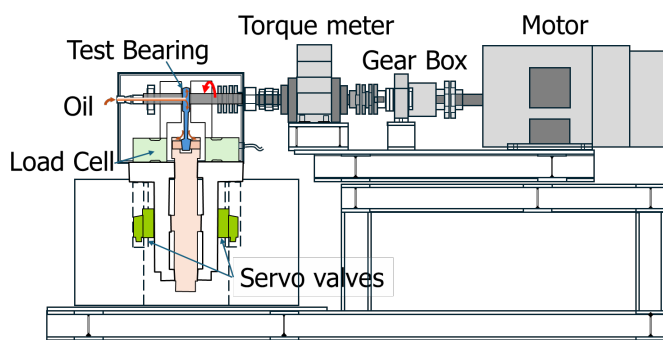


Fig. 1 ボールベアリング試験機の構成

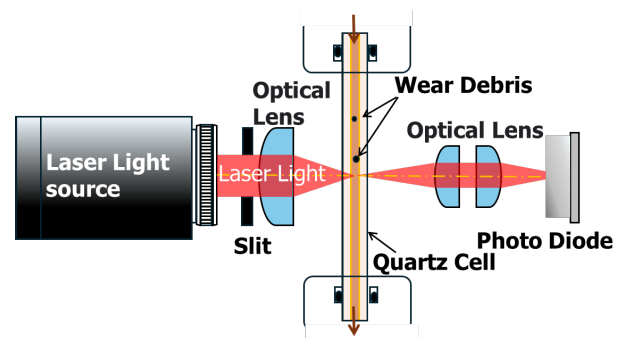


Fig. 2 油中粒子計測器の原理

Figure 1 に今回用いたボールベアリング試験機の構成を示す。テストベアリング(試験片)は両サイドのサポートベアリングで支えられ、コネクティングロッドにて油圧サーボバルブより加振される。

試験片のインナーレースは回転軸に固定され、その回転軸はトルクメーター、ギアボックス、モーターを介して回転を与える構造とした。潤滑油は回転軸内部(Fig.1 左側)より供給される。オイルは市販のエンジンオイル(Honda 純正 ULTRA LEO)を用い、80℃にてオイルを回転軸内に供給した。初期なじみが終了した後、試験を開始した。初期なじみ終了の判断は Figure 2 に示す油中粒子計測器を用いて、油中の摩耗粉放出挙動より行った。供給オイルは回転軸内部から試験片を通過し、試験室下部より回収、油中粒子計測機へ導き、自動でサンプリングしながら、粒子計測を連続的に実施した。初期なじみの油中粒子放出挙動については発表時に示す。

3. TEM 観察方法

ボールベアリング試験後、試験機から取り出し、試験片を切り出した。

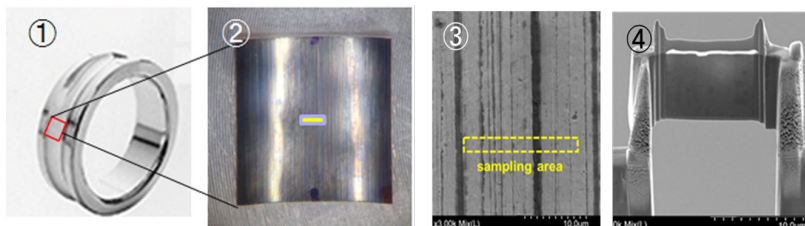


Fig.3 転動面の FIB 加工工程

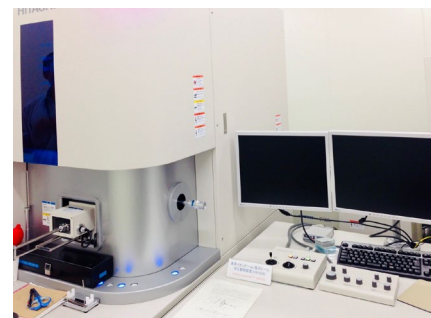


Fig. 4 FIB 装置外観

その後、FIB(NB5000 日立ハイテクノロジー製)にて加工し、TEM(JEM-2800 JEOL 製)を用いて転動面直下数 μm の範囲を詳細観察した。

4. TEM 観察結果

Figure 5 に転動面直下(転動方向に連続撮影)の TEM 像と観察前の FIB 加工状態を示す(右上). 試験条件は 6000r/m,

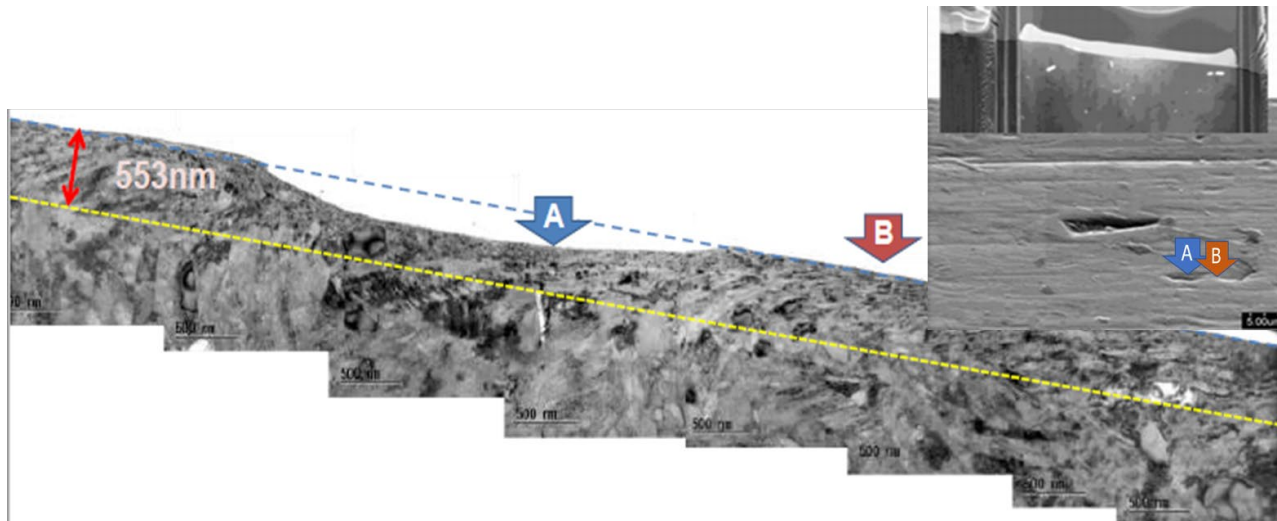


Fig. 5 転動面直下(転動方向に連続観察)TEM 像

3.0 kN, 100h である. 転動面は青点線, 赤線矢印方向が深さ方向となる. 観察面を明確にする為, 転動面上に形成されていた横長の損傷痕(A, B)を中心に FIB にて断面加工を実施した. その結果, 深さ 0.553 μm 程度に渡り塑性流動が確認され, 矢印 A の損傷痕は塑性流動層内で欠損している事が分かった. その為, 塑性流動範囲内で摩耗粉が形成されと思われる.

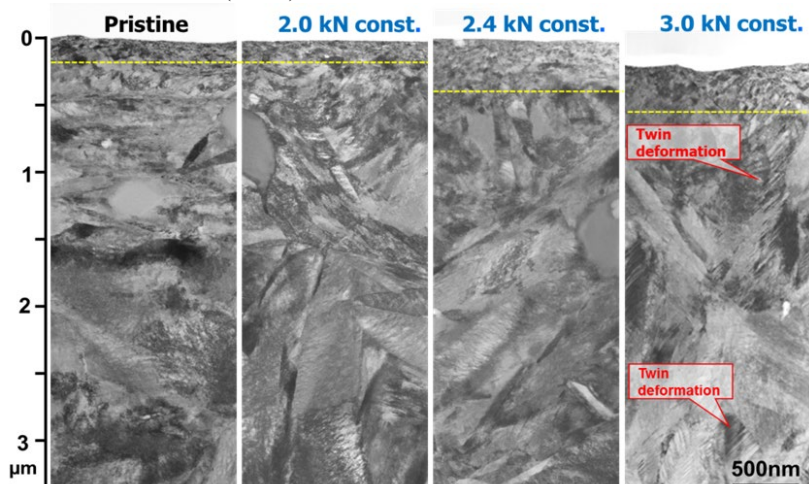


Fig.6 静荷重時の転動面直下 TEM 像(6000r/m)

更に塑性流動状態を詳細に確認するため, 高倍率にて観察を実施した. Figure 6 に静荷重による 100 時間連続テスト時の転動面直下 TEM 像を示す. 静荷重は 2.0, 2.4, 3.0 kN とした. 2.0 kN 試験では, 試験前と同じ深さまで微細結晶構造が存在し, 2.4 kN 試験では表面から約 400 nm 下まで微細結晶構造が広がっていた. 3.0 kN 試験では, 微細結晶構造がより深くまで広がり, 摩耗により表面の一部が剥離, 更に深い部分では双晶変形が見られた.

その為, 静荷重が高くなると, 微細結晶構造層が厚くなる事が分かった. 双晶変形を確認するため, 高解像度 TEM を用いた詳細な観察を行った.

静的荷重 3.0 kN, 100 時間の試験を行った試験片の双晶変形が疑われる個所を観察した Figure 7 の右写真(赤枠)は, 高解像度の TEM 画像と高倍率拡大画像を示す. 電子回折 (ED) パターンではすべり面が {112} である事から, Figure 6 の 3.0 kN による双晶変形が疑われた金属組織は双晶変形であった事が明らかとなった.

以上の事から,

- (1) 著しい損傷が確認されない状況でも微細結晶層の拡大が発生
- (2) その粒子径は 0.1~0.5 μm
- (3) 荷重の大きい場合, 双晶変形が発生し, その後, 塑性流動を起こ

し, 数 μm の摩耗粉へと成長すると予想される, 発表時には数 μm の摩耗粉の成長過程についても報告予定である.

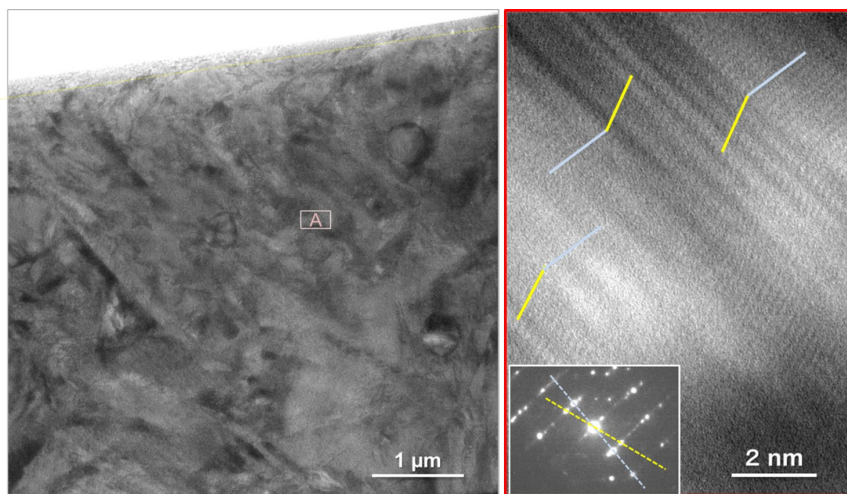


Figure 7 双晶変形が疑われる部分の拡大 TEM 像と ED パターン