

転がり軸受のフルーチング形成メカニズムの解明
- 一定電力条件下における電食観察 -

Elucidation of the Fluting Formation Mechanism on Rolling Bearings
- Observation of electrical erosion under constant power conditions -

NTN（正）*葛谷 紘澄 （正）川村 光生 （非）奥野 孝洋 （非）小長井 直哉
Hiroto Kuzuya*, Mitsuo Kawamura*, Takahiro Okuno*, Naoya Konagai*
* NTN Corporation

1. はじめに

軸受の損傷形態の一つとして電食が挙げられる。軸受における電食とは軸受内に電流が通過すること起因して軌道面などが損傷する現象のことであり、軌道面が梨地状に変質するフロスティングや、フロスティングから進展し波板状になるフルーチング（リッジマーク）が形成され¹⁾、軸受振動の原因となる。転動体と内外輪間で形成される油膜が絶縁破壊して、軌道面にフロスティングやフルーチングを形成すると考えられている。フルーチングが形成されるメカニズム²⁾やフルーチング形成に必要なエネルギー量³⁾などは研究されているが、未解明な部分は未だ多いといえる。また、近年モータやインバータの高性能化やカーボンニュートラル化に伴う電気自動車の普及によるモータ適応領域の拡大に伴い、軸受に電流が通過する環境下での使用頻度が高まり、電食の発生が増加することが考えられ、メカニズムの解明や電食発生までの使用時間、そして電食対策の需要も高まっている。

本報では、フルーチング形成メカニズムの解明を目的として、一定電力条件下における軸受運転試験を行い、電食の発生状況を調査したので、その結果を報告する。

2. 試験軸受および潤滑油

試験軸受として冠型樹脂保持器を組み込んだ 6206 を、潤滑油として粘度が異なる 2 種類の合成油（ポリ-α-オレフィン）を使用した。Table 1 に供試油の性状を示す。

Table 1 Characteristics of test oil

Sample name	Oil type	Viscosity at 40 °C, mm ² /s	Viscosity at 100 °C, mm ² /s	Density, g/cm ³
A	Poly-α-olefin	30.7	5.8	0.827
B		65.1	9.8	0.836

3. 試験方法

3.1 軸受電食試験

Figure 1 に軸受試験機の概略図を示す。試験機は自重によるラジアル荷重及び板バネによるアキシアル荷重を軸受に負荷し、電気を試験軸受のみに流しながら軸受内輪を回転する構造である。試験軸受以外に電流が流れないように、駆動モータと軸の接続部は絶縁カップリングを、支持軸受転動体にはセラミックス球を、試験軸受周辺部は樹脂をそれぞれ使用している。また本試験においては直流安定化電源を使用し、内輪が正極、外輪が負極となるように電気回路を構築している。本試験において供試油封入量は 4.0 g とし、シールにより密閉した。試験軸受のラジアル荷重は 18 N、アキシアル荷重は 96 N、内輪回転速度は 1600 min⁻¹、軸受温度は成り行きとし外輪温度を熱電対で測定した。また、軸受への電圧・電流印加については定電流制御を行い、電流は 5 A、電圧は成り行きとした。試験時間は 3 h、7 h の 2 水準とし、試験後軸受を分解し内輪転走面を光学顕微鏡で観察した。

3.2 振動測定

軌道面の形状変化による振動値を評価するため、アンデロンメータを用いて、アンデロンメータ測定値（以後アンデロン値と呼称する）である Low-band、Middle-band、High-band をそれぞれ測定した。供試油封入量は 8.3 mg、内輪回転速度は 1800 min⁻¹ とし、軸受電食試験による損傷部の振動値を測定するため、測定時のアキシアル荷重は 100 N とした。また、アンデロン測定においては試験軸受を軸受電食試験機から取り外して測定するため、転動体の回転軸が

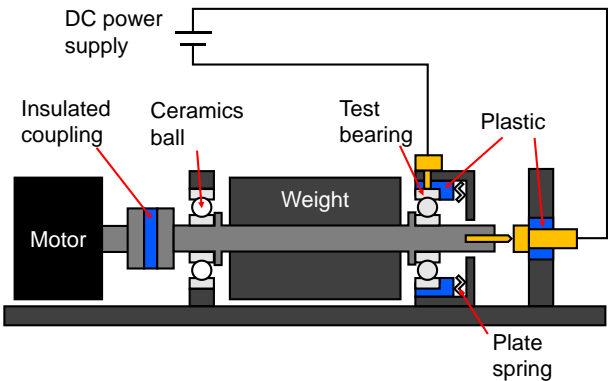


Fig.1 Schematic view of experimental setup

試験時とは変化する．電食による軸受損傷の評価を単純化するため，未使用の外輪，保持器およびセラミックス転動体を使用し，内輪のみ試験後品を用いてアンデロン測定を行った．内輪回転 5 s 後のアンデロン値を 5 回測定し平均値を算出した．

4. 試験結果

4.1 軸受電食試験

Table 2 に試験結果の一例として供試油 A を封入した軸受の 3 h 後および 7 h 後における内輪の観察結果を示す．図中に接触楕円を示す．今回の試験条件においては 3 h でフロスティングが，7 h でフルーチングが発生していることが分かった．電食による損傷の幅は接触楕円長軸の幅より大きい範囲に及んでいることが分かった．供試油 A，B を封入した軸受の 7 h 後における観察結果より，供試油 A ではフルーチングが発生しているが，供試油 B ではフロスティングであることが分かった．

4.2 振動測定

Figure 2 に試験結果の一例として供試油 A を封入した軸受の 3 h 後および 7 h 後における軸受内輪を使用したアンデロン測定結果を示す．試験結果より，新品軸受 (0 h) と比較して，3 h 後，7 h 後の軸受では一様にアンデロン値の High-band が上昇していることが分かった．また試験後軸受での比較においては，フルーチングに進展している 7 h 後軸受はフロスティングに進展している 3 h 後軸受と比較して High-band が大幅に上昇し，Middle-band もわずかに上昇していた．

5. 考察

本試験は一定電力条件下での試験を実施したため，試験時間に比例する形で軸受に印加されるエネルギー量が増加する．よって，軸受の電食進展は，通電により軸受に印加された総エネルギー量に影響を受けることがわかる．また供試油 A と B の試験結果の差異は，運転中の油膜厚さの違いによるものと考える．供試油 B は油膜厚さが厚いため油膜厚さが薄い供試油 A より油膜の絶縁破壊電圧が高くなり，絶縁破壊の頻度が低くなるため，軸受を通過した電力の総エネルギー量が小さくなったと考える．また，アンデロン値の結果より，電食損傷の進展に従い初めに表面粗さが悪化し，その後母線形状が悪化したと考える．

6. まとめ

本報ではフルーチング形成メカニズムの解明を最終目的として，一定電力条件下において軸受を運転しその過程における電食の観察を行った．その結果，試験時間に比例してフロスティング及びフルーチングが発生した．また，試験時間に比例してアンデロン値 High-band が上昇した．このことから電食の進展と通電により軸受に印加された総エネルギー量に相関があり，電食の判断基準としてアンデロン値測定が有用であることが考えられる．引き続き，フルーチングの発生メカニズム解明に取り組んでいく．

文献

- 1) 野口・堀田：スラスト玉軸受を用いたリッジマーク成長過程のミクロ的観察，トライボロジスト，62, 6 (2017) 405.
- 2) 古谷・西川・松田・砂原・山本：電食による損傷の進展挙動，トライボロジー学会予稿集，東京，2013-5, D14
- 3) H.Tischmacher：Systemanalysen zur elektrischen belastung von wälzlager bei umrichtergespeisten elektromotoren，(1966) .

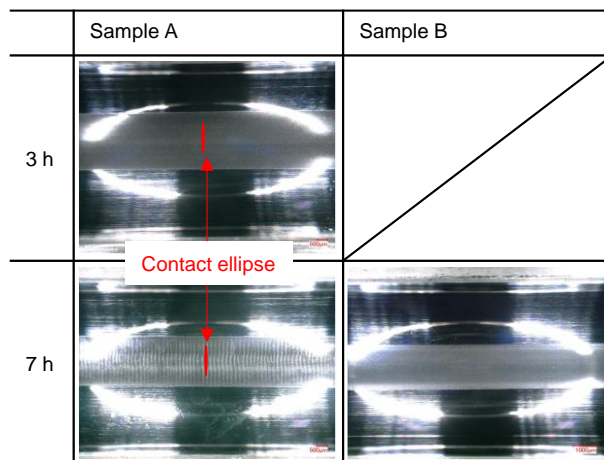


Table 2 Observation results of an inner ring raceway after testing

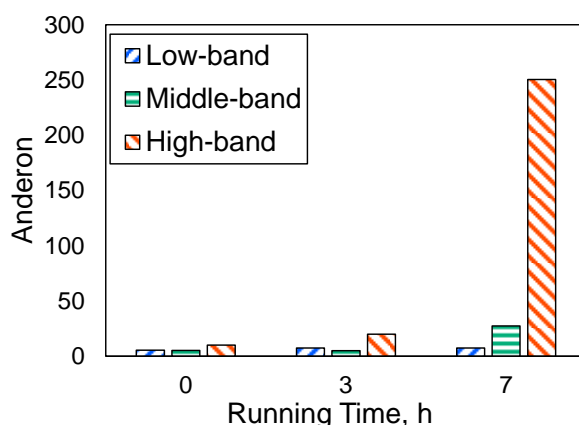


Fig.2 Anderon measurement results of Sample A