

転がり軸受のフルーチング形成メカニズムの解明
-放電痕の形状がフルーチング形成に与える影響-
Elucidation of the Fluting Formation Mechanism on Rolling Bearings
- The influence of discharge crater shape on fluting formation -

NTN（正）*葛谷 紘澄 （非）小長井 直哉 （正）端山 昌樹 （正）川村 光生
Hiroto Kuzuya*, Naoya Konagai*, Masaki Hayama*, Mitsuo Kawamura*
* 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、波板状の損傷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されて、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が、一般的に放電エネルギー量が小さいとフロスティングが維持され、放電エネルギー量が大きいとフルーチングとなると言われている。一方、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⁾などは未解明な部分が多い。

本報では、フルーチング形成メカニズムの解明を目的に、印加電流を変更した際の放電痕の形状の観察および放電痕の凹凸の有無がフルーチング形成に与える影響を調査した。

2. 試験軸受および潤滑油

試験軸受には冠型樹脂保持器を組み込んだ 6206、潤滑油に合成油（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

Oil type	Viscosity at 40 °C, mm ² /s	Viscosity at 100 °C, mm ² /s	Density, g/cm ³
Poly-α-olefin	30.7	5.8	0.827

3. 試験方法

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、試験軸受のみに電流を流しながら軸受内輪を回転させる構造である。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に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。本試験における供試油封入量は 4.0 g であり、接触シールにより軸受内に密閉した。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であり外輪温度を熱電対で測定した。また、軸受への電圧・電流印加は定電流制御である。試験 I では軸受に印加される総エネルギー量がフルーチング形成に与える影響を明らかにするため、電流値を変更し長時間運転による試験を実施した。試験 II では放電痕の形状によるフルーチング形成への影響を検証するため、ごく短時間での試験を実施した。Table 2 に軸受への印加電流および試験時間を示す。試験後には内輪転走面を光学顕微鏡で観察し、フルーチングの有無および放電痕形状を評価した。

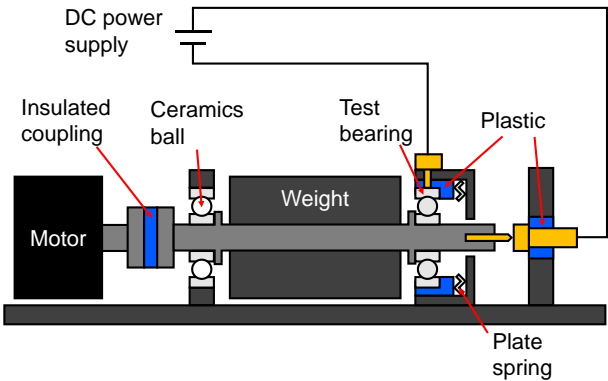


Fig.1 Schematic view of experimental setup

Table 2 Test conditions

	I				II			
Sample name	I-1	I-2	I-3	I-4	II-1	II-2	II-3	II-4
Current, A	0.75	1	2	5	0.75	1	2	5
Time	180 h	90 h	60 h	7 h	1 min			

4. 試験結果

Figure 2 に試験 I の結果を示す。今回の試験条件において、I-1 はフロスティングであり、I-2, 3, 4 はリッジマークが形成された。Figure 3 に試験 II の結果を示す。II-1 は変色がみられるものの凹凸を有する放電痕は観察されなかった。一方、II-2, 3, 4 は微小な凹凸を有する放電痕が観察され、電流値が大きいほど放電痕直径は大きかった。Figure 4 に放電痕の一例として II-2 の形状測定結果を示す。直径 $1.6\ \mu\text{m}$ 、深さ $0.12\ \mu\text{m}$ 程度の放電痕であった。また、軸受に印加された総エネルギー量を式(1)より計算したところ I-1 のエネルギー量は I-4 に比べ 4 倍であった (Fig. 5)。

$$E_{tot} = V_b \times i_b \times T \quad (1)$$

E_{tot} : 軸受に印加された総エネルギー量

V_b : 軸受電圧, i_b : 軸受電流, T : 試験時間

5. 考察

試験 I より、I-1 は I-4 より総エネルギー量が大きいにも関わらず、フロスティング状態が維持されることが判明した。これは、フルーチングの形成において総エネルギー量以外にも形成条件があることを示唆している。また試験 II より、放電痕の凹凸が形成されるためには一定以上の電流が必要であると考えられる。放電痕の凹凸が形成される条件においては、電流値の増加につれて放電痕の直径が増加する一方、フルーチングに至るまでの時間は低下した。このことから油膜の絶縁破壊時に形成される放電痕の大きさが、フルーチング形成に至るまでの時間に影響すると考えられる。印加した電流値と放電痕直径の相関については、放電加工の分野で小島ら⁴⁾により、放電電流がアークプラズマ直径に与える影響の調査を行って、同様の結果を報告している。このことから、軸受内部で起きている事象は放電加工での材料除去工程と同様の事象である可能性が高いと考える。

6. まとめ

本報では電食損傷度合いの予測方法確立を最終目的に、放電痕の形状がフルーチング形成に与える影響を調査した。その結果、放電による凹凸の有無がフルーチング形成に影響を与えることが示唆された。

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 wälzlagern bei umrichtergespeisten elektromotoren，(1966) .
- 4) 小島・国枝：放電加工の放電電流値がアークプラズマの直径に与える影響，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，2007，pp.523-524.

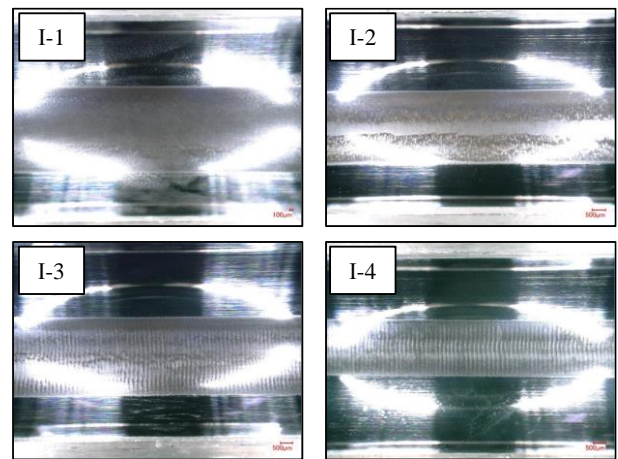


Fig.2 Results of Test I

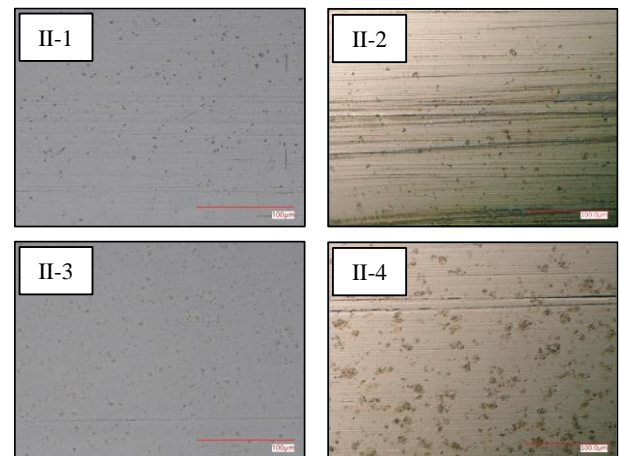


Fig.3 Results of Test II

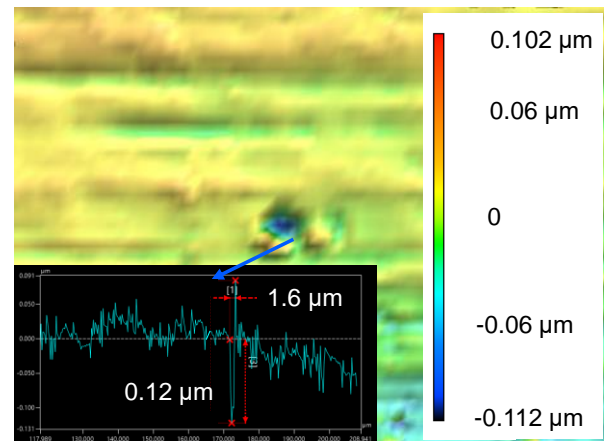


Fig.4 Shape measurement of discharge crater in II-2

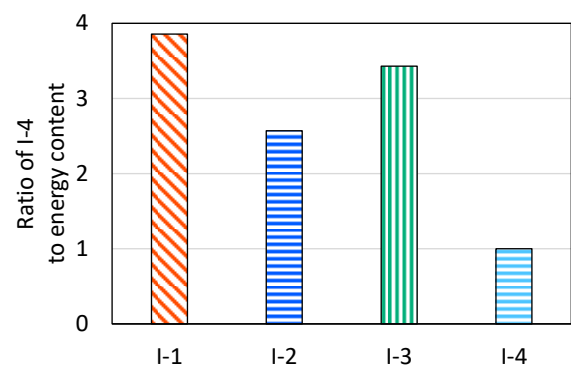


Fig.5 Ratio of I-4 to energy content