

## 電食または電圧印加による転がり軸受の接触状態の変化

### Change in Rolling Bearing Contact Conditions due to Electrical Pitting or Voltage Application

九工大・院（学）\*川幡 陸斗 九工大・院（非）下岡 裕矢 九工大（正）松田 健次

Rikuto Kawabata, Yuya Shimooka, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

#### 1. はじめに

軸受電食とは、軌道輪間に電圧が印加された軸受の転走面が、局所的に融解損傷する現象である。電食が進展するとリッジマークと呼ばれる洗濯板状の損傷が形成されることが知られている。リッジマークは騒音や振動の駆動源となり、たとえ定格寿命内であっても致命的な機能低下や性能低下をもたらすため、特にモータ用軸受などではその対策が重要になっている。本研究は、このリッジマークの発生機構の解明を目的として計画されたものである。

軸受電食は、「軸受の転動体と内外輪の間に電圧が印加されることにより、潤滑膜を貫いて電流が流れ、転送面においてスパークするために生じる」とされているが、著者らの予備実験において、20時間連続印加した後に試験片の接触状態を計測したところ、2面間が直接接触して電流が流れていることを示唆する結果が得られた。そこで本研究では、スラスト玉軸受の二つの軌道輪間に電圧を断続的に印加し、電圧印加を停止した直後の接触状態の変化を調査することによって印加時の接触状態を推定するとともに、印加条件の影響について調査した。

#### 2. 実験方法

実験には前報<sup>2)</sup>と同じ装置を使用した。試験片には SUJ2 製のスラスト玉軸受（51107、軌道径 43.5 mm、軸受球直径 6.35 mm）を使用した。ただし、軸受球は 18 個から 3 個へと減らし 120° 間隔に配置している。さらに、そのうち 2 個の軸受球を絶縁性のセラミック球に変更している。本研究に用いた試験装置の概略図を Fig. 1 に示す。荷重は下部軌道輪を支持するばねを圧縮することで与えた。1 つあたりの軸受球にかかる荷重  $W$  は 130N である。

潤滑油には VG100 ( $\rho = 0.882 \text{ g/cm}^3$ ,  $\nu = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$  @40°C) を使用し油浴潤滑とした。荷重を負荷した後、油温が安定するまで上部駆動軸を 1500 rpm で回転させ、上下軌道輪間に定電圧電源を用いて電圧を印加した。安定した温度は約 40°C であった。この時の理論最小油膜厚さは  $0.584 \mu\text{m}$  となる。軌道輪に印を付け、角度 90 度毎の 4 点 (Point 1~4) で転走面の定点観察を行った。

また、本実験で使用した回路の概略図を Fig. 2 に示す。スイッチング回路で発生させた ON-OFF 信号でリレーを駆動させ、これによって試験軸受に印加する電圧を一定の周期で ON-OFF 制御した。Figure 2 は印加時の回路であるが、実験回路内のスイッチを a から b に切り替えることで接触検知回路に切り替えることができる。ただし、接触検知は印加電圧が OFF のタイミングで実施するため、このままでは接触検知回路に電力が供給されない。そのため図示していないが、リレーと並列なバイパス回路を設けて接触検知をするタイミングでこの回路を ON としている。

#### 3. 実験結果

Figure 3 に電圧を 20 時間連続印加した後電圧印加を停止し、接触検知回路を用いて得られた上下軌道輪間電圧  $V_B$  の経時変化を示すが、ここで上下軌道輪が短絡している場合には  $V_B$  は 0V を示し、完全に分離すると 0.16V を示す。電圧印加直後はほぼ短絡状態であり、60 秒程度経過すると完全な分離状態に近づいていることが分かる。そこで、所定の時間 ON、すなわち電圧を印加した後に 60 秒間の OFF の時間を設けて、これを繰り返す、ON から OFF に切り替えた直後からの  $V_B$  の経時変化に及ぼす ON の時間の影響を調べた。試験は ON の時間を 60, 1, 0.1 秒の 3 条件に設定した。その結果を Fig. 4 に示す。総試験時間は 50 時間であり、総印加時間は ON が 60 秒の時は約 25 時間、1 秒の時は約 50 分、0.1 秒の時は約 5 分である。同図は試験時間が 25 時間経過時のものである。図中、赤色で示した①③では実験終了後に軸受球表面にリッジマークが観察された。一方、青で示した②④⑤は明確なリッジマークは観察されなかった。全体的には ON の時間が短くなるに従い、分離状態に至るまでの時間が低下している。ただし、(b)の場合、同一の ON 時間であっても、③のリッジマークが発生した場合は④の発生しなかった場合と比較して分離状態に至るまでの時間が増加していることが分かる。

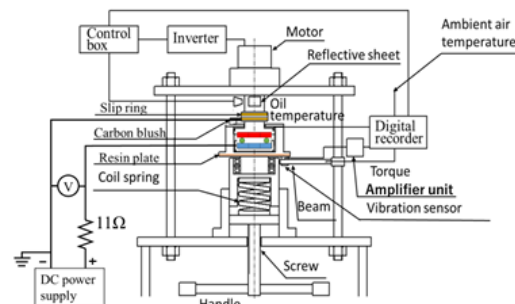


Fig. 1 Test equipment

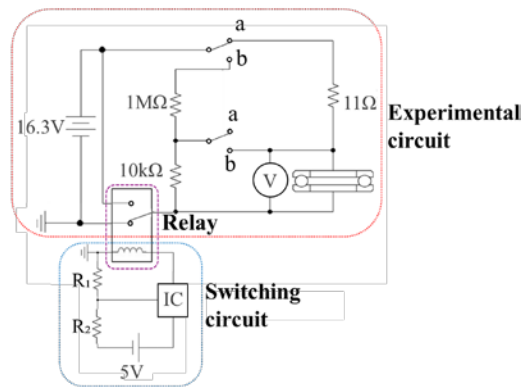


Fig. 2 Circuit schematic

#### 4. 考察

Figure 4 において、ON から OFF に切り替えた後に分離電圧が上昇していくのは、ON によって表面粗さが増加することによって、両面が直接接触する可能性が増加するのに対し、OFF によって電食の新たな発生がなくなることによって、接触部は押しつぶされ、次第に突起が低くなることによって直接接触の可能性が次第に減少し、完全な分離状態に近づいたためだと考えられる。ON の時間が長いほど分離状態に至るまでの時間が長いのも、ON の間の電食によって粗さが増大すると考えることによって説明が可能だと言える。Figure 5 に、ON 1s, OFF 60s の条件で行った試験③④における実験後の下部試験片の表面写真を示す。同一の ON-OFF 条件の場合、同数のピットが生じると仮定した場合においても、③のように集中して存在すれば局所的に粗さが増大し、直接接触の可能性が増大するとともに、ON から OFF にした後に分離状態に至るまでの時間は増大すると考えられる。

ここで、Fig.4 における印加停止直後の  $V_B$  の変化を定量的に比較するために印加停止後 6 秒までの  $V_B$  の積算を行った。その結果を Fig.6 に示す。リッジマークが発生した(b)③の印加停止直後の状態は印加時間の長い(a)の状態に近いことが分かる。同図には ON 1s, OFF 6s の条件でリッジマークが発生しなかった試験(図中⑥)も示しているが、ON の時間が同じでリッジマークが発生しなかった(b)④とほぼ一致している。④においては 6 秒程度で完全分離となっていることから、完全分離後の繰返しは表面状態の変化に影響を与えていないことが示唆される。

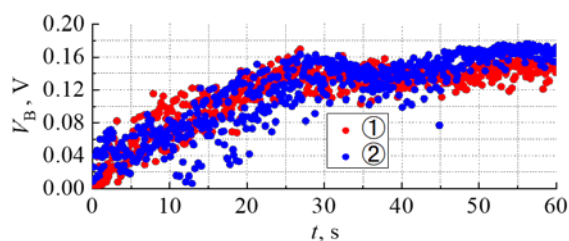
リッジマークは転がり方向に電食の発生頻度が高いところと低いところが生じるために形成されると考えられるが、本研究結果よりその要因として以下のメカニズムが考えられる。接触または放電によって通電されると表面の粗さが増大して接触の可能性が増大するが、通電されなかった場所は粗さが低下し、少なくとも接触による通電の可能性は低下すると考察される。粗さが大きい方が放電が起こりがたいということが無いのであれば、通電しなかった場合はその後も通電しなくなる可能性が高くなるといえる。ただし、常に軌道輪間に電流が流れるためには、通電しない領域の転がり方向の長さは理論接触楕円短直径を凌駕することはできない。これが、ほぼ一定のピッチで縞状の電食摩耗が生じる一因となっていると考えている。

#### 5. 結言

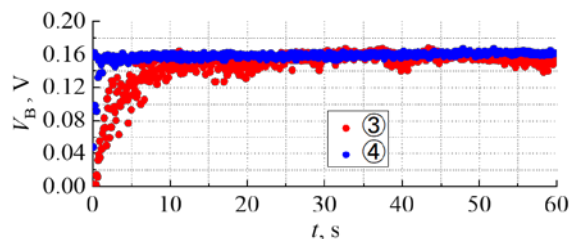
鋼球 1 個とセラミック球 2 個を用いたスラスト軸受を使用して、電圧印加の ON/OFF を繰り返した電食試験を行った。その結果、印加の有無が接触状態に大きな影響を与えることを示唆する結果が得られた。

#### 文献

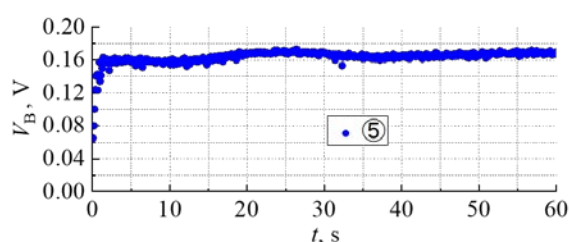
- 1) 日本トライボロジー学会 編：トライボロジーハンドブック、養賢堂 (2001) 795
- 2) 秋吉・下岡・松田：転動接触疲労試験機を用いた電食による損傷の進展挙動、トライボロジー会議 2022 秋 福井 予稿集 (2022) D12



(a) ON 60s, OFF 60s



(b) ON 1s, OFF 60s



(c) ON 0.1s, OFF 60s

Fig.4 Time variations of bearing voltage (after 25 hours of the test)

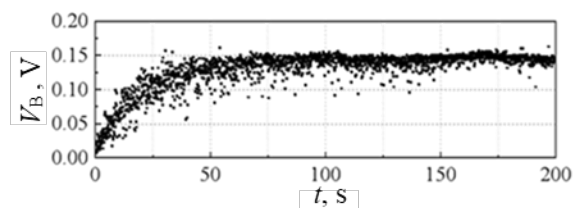


Fig.3 Time variation of bearing voltage (after 20 hours of voltage application)

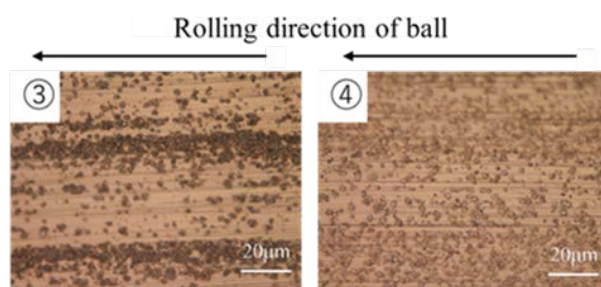


Fig.5 Top view of lower race after the test

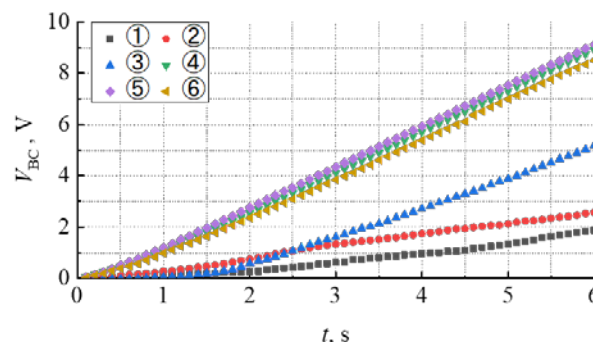


Fig.6 Time variations of cumulated bearing voltage