

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

Damage Growth Behavior due to Electrical Pitting by Rolling Contact Fatigue Testing Machine

九工大・院（正）*秋吉 拓海 九工大・工（非）下岡 裕矢 九工大・工（正）松田 健次

Takumi Akiyoshi, Yuya Shimooka, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

1. はじめに

転がり軸受の損傷は、機能上の損傷と強度上の損傷に大別されている。軸受電食は潤滑油やグリースの劣化および、騒音・振動などを発生させ、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に、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。

前報¹⁾では、振動の発生源となるリッジマークの発生機構を解明することを目的に、1つの鋼球のみを転動させる試験装置を用いてそのピッチが確定していく過程とその大きさと理論接触楕円短直径との関係を調査した。本研究では、市販の転がり軸受を使用可能な転動接触疲労試験機を改造し、軸受の軌道輪間に電位差を与えることにより電食の再現を行い、前報との比較を行った。また、前報の試験では観察されなかった現象が生じたため、これを報告する。

2. 実験方法

実験には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。本研究に用いた試験装置の概略図をFig. 1に示す。本装置は前報²⁾の転動接触疲労試験に用いたものであるが、上下軌道輪間に電圧を印加するために、下部軌道輪を収めた容器と装置との間に樹脂プレートを含めることで下部軌道輪の絶縁を行っている。上部軌道輪への通電は、それを固定している回転軸にスリップリングとカーボンブラシを導入することで行った。また、下部軌道輪を収めた容器に設置した振動計が一定の振動を検知すると停止する仕組みになっており、本実験では先の転動接触疲労試験と同等の設定で試験を行った。

荷重は下部固定軸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、13 Nと130 Nの2条件とした。このときのヘルツの接触楕円短直径はそれぞれ0.066、0.142 mmであり、接触応力の最大値はそれぞれ0.60、1.28 GPaである。使用した潤滑油はVG100（ $\rho=0.882$ g/cm³、 $\nu=100$ mm²/s @40°C）であり、油浴潤滑とした。荷重を負荷した後、モータを1500 rpmで回転させて油温を42°Cまで上昇させた後、上下軌道輪間に電圧（直流15 V）を印加した。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。観察後は容器内の潤滑油を新しいものに入れ替え、再び油温が42°Cまで上昇してから電圧印加を再開した。

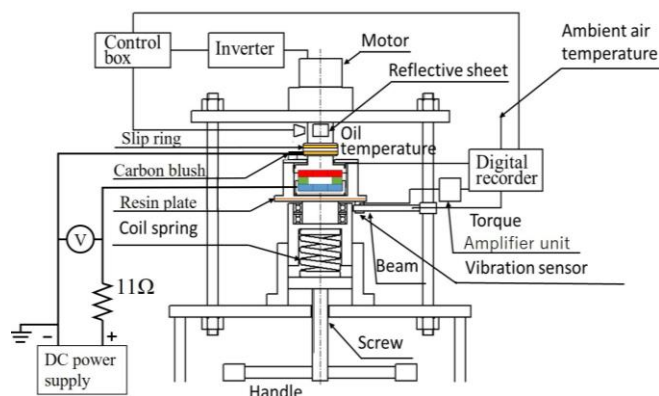


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 実験結果および考察

3.1 リッジマークの形成過程と荷重の影響

Figure 2に、 $W=130$ Nの場合の印加時間 t が200時間に達するまでの上部軌道輪転送面の経時変化を示す。 $t=5$ minで軌道輪円周方向に筋状の損傷痕が現れ、その後、軌道輪半径方向に損傷の幅が拡大しながら縞模様が形成された。この観察点では25時間経過時点で縦模様が認められるが、観察点によってその時間には差異が生じた。200時間経過時点では4点全てでほぼ一様な損傷が見られた。そこで、前報¹⁾と同様に、各写真を画像処理して得られた輝度分布に対して高速フーリエ変換（FFT）を実施することにより、輝度分布の波長の変化を調べた。その結果をFig. 3に示す。4つの全て観測領域において、50時間を経過するころから最終的な波長（約0.5 mm）に近い値を示していることが分かる。すなわち、定性的には前報¹⁾の単一球の場合と同様な損傷進展過程が観察された。ただし、波長は理論接触楕円短直径の3~4倍程度と大きい。

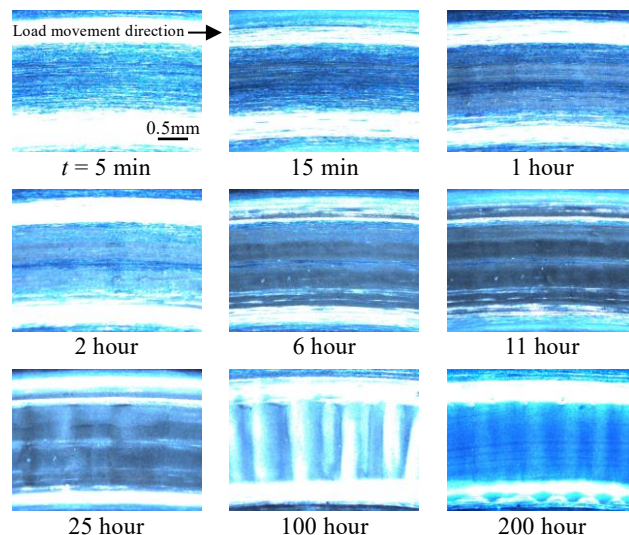


Fig. 2 Variation of the rolling contact surface ($W=130$ N)

Figure 4 は、上記の $W=130\text{ N}$ での試験（試験時間 231.7 hr）および $W=13\text{ N}$ で実施した試験（試験時間 129 hr）の試験終了後の上部軌道輪転走面を、円周方向に角度 30 度間隔（全 12 視野）で写真撮影を行い、先述と同様に輝度分布の波長を調べたものである。いずれの荷重においても大略一様に分布していると言える。 $W=13\text{ N}$ の波長は $W=130\text{ N}$ と比較して若干小さい傾向を示しているが、両者の理論接触楕円短直径には約 2 倍の相違があり、波長と理論接触楕円短直径との間に比例関係は成立していない。なお、荷重 13 N の波長は理論接触楕円短直径の 6 倍程度である。

軸受球が 3 個あることにより、一つの接触領域内で必ずしも放電が生じる必要がなくなり、放電しない領域の幅が単一球の場合よりも増加すれば波長も増加すると考えられるが、3 つの軸受球での放電頻度やそのタイミング等の不明な点があり、リッジマークの発生メカニズムの解明にはさらなる検討が必要である。

3.2 巨視的損傷の発生

上記の $W=130\text{ N}$ での試験では、合計印加時間が 231.7 hr でセンサが振動を検知し、試験機が停止した。Figure 5 に、停止後に軸受球表面を観察した結果を示す。3 個の軸受球のうち 1 つのみ、明瞭なリッジマークが確認された。その軸受球には、回転方向に 1.8 mm、回転軸方向に 1.6 mm、最大深さ 0.26 mm 程度の剥離が生じていた。Figure 6 に試験後の上部軌道輪転走面とその断面形状を示す。その高低差は約 8 μm であった。使用した軸受の定格疲れ寿命 L_{10} を、鋼球 1 個当たりの荷重の 18 倍（本来の鋼球の数の倍数）のアキシャル荷重が作用したと仮定して計算すると約 7362 hr となり、著しく短時間に強度上の損傷が生じたことになる。疲労寿命低下の要因として、潤滑油中への摩耗粉の混入、振動による巨視的な荷重変動、電食による応力集中源の発生等が考えられるが、リッジマークの凹凸谷部にも放電が生じているのであれば、その油膜厚さは凹凸高さに比べてかなり小さいと予想され、凹凸による接触面の変形によって接触圧力分布にはかなりの大きさの変動成分が重畳している可能性がある。多角的に現象をとらえていくことも機構解明に有用と考えている。

4. 結言

軸受球を 3 個に減らしたスラスト玉軸受の転動接触疲労試験を行い、軌道輪間への電圧印加による損傷の進展挙動を、先の単一鋼球の転動試験の結果と比較した。

文献

- 1) 松田・古谷・西川・砂原：トライボロジー会議 2022 秋 福井 予稿集（2022）掲載予定。
- 2) 野元・尾形・山本・松田：トライボロジー会議 2017 秋 高松 予稿集（2017）A6。

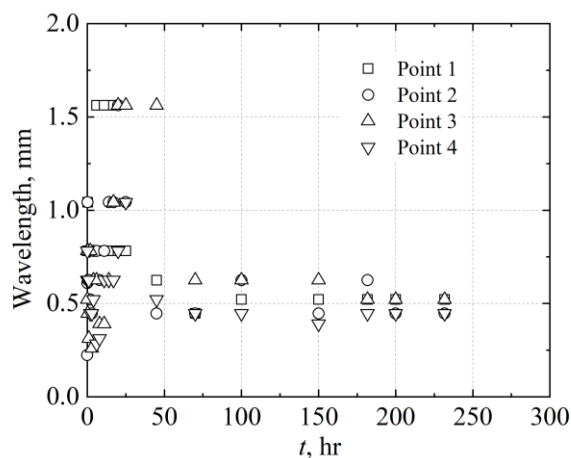


Fig. 3 Time variation of the wavelength of the ridge mark

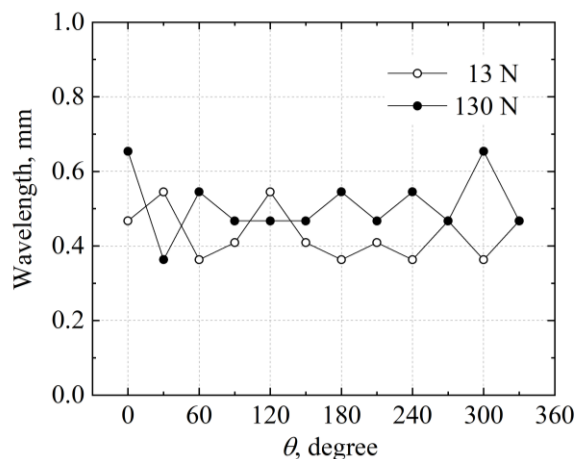


Fig. 4 Variation of the wavelength of the ridge mark in the circumferential direction

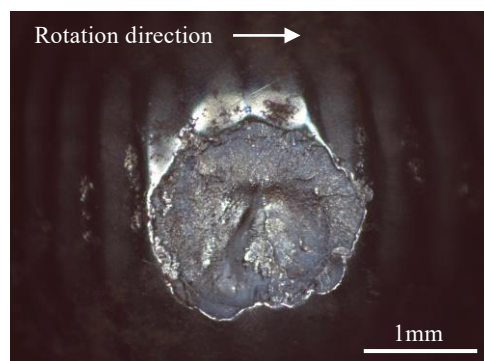


Fig. 5 Top view of the bearing ball after the test ($W=130\text{ N}$)

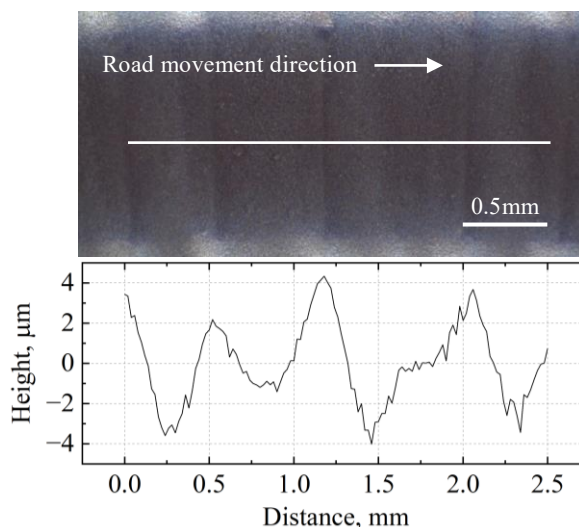


Fig. 6 Top view and the cross sectional shape of the ridge mark on the upper race after the test ($W=130\text{ N}$)