

# 単一球を用いた転動接触試験によるリッジマークのピッチの追跡 Pursuit of the pitch of ridge marks by rolling contact test using a single ball

九工大（正）\*松田 健次 九工大・院（非）古谷 優 九工大（正）西川 宏志 福工大（正）砂原 賢治

Kenji Matsuda\*, Suguru Furutani\*, Hiroshi Nishikawa\*, Kenji Sunahara\*\*

\*Kyushu Institute of Technology, \*\*Fukuoka Institute of Technology

## 1. はじめに

軸受電食では、油膜中に放電が起きることによってクレーターと呼ばれるくぼみが生じ、運転を続けていくとこれが縞状に並んで騒音や振動を引き起こすことが知られている。この縞状の凹凸はリッジマークと呼ばれている。リッジマークの数には転動体の数が関係しているとの報告もあるが<sup>1)</sup>、その発生メカニズムについては必ずしも明らかにされていない。そこで本研究では、1つの鋼球のみを転動させる試験装置を用いてリッジマークを発生させ、そのピッチが確定していく過程を調査することによって、発生メカニズムの考察を行った。

## 2. 実験方法

実験で使用した実験装置は前報<sup>2)</sup>と同じであり、Fig. 1にその概略を示す。軸受鋼球1個を3つの単列深溝玉軸受内輪ではさむ構造となっている。内輪Bをモータで駆動させ、内輪A、Cは鋼球を介して従動する。内輪B、Cの軌道径は $\phi = 25\text{ mm}$ 、軸受鋼球の直径は $\phi = 7.938\text{ mm}$ である。

試験は、まず潤滑油（VG100、 $\rho = 0.882\text{ g/cm}^3$ 、 $\nu = 100\text{ mm}^2/\text{s}$  @40°C）を連続的に滴下させ、ばね力で内輪Aを軸受鋼球に押し付けて荷重（216N）を負荷した。次にモータを1000 rpmで回転させて油温を27°Cまで上昇させた。この後B、C軸間に電圧（直流15V）を印加して電食を発生させた。このときのヘルツの接触楕円長直径 $2a$ 、短直径 $2b$ はそれぞれ2.69, 0.128 mmであり、接触圧力の平均値と最大値はそれぞれ0.801, 1.202 GPaである。

観察対象は内輪Bとし、駆動停止後に軸回転ストッパーを設けることによって、角度90度毎の4点(Point 1~4)で転走面の定点観察を行った。

## 3. 実験結果

Figure 2に、印加時間 $t$ が400時間に達するまでの内輪B転走面の経時変化を示す。 $t = 5\text{ min}$ で円周方向に線状の損傷痕が現れ、その後、軸方向に損傷幅が拡大しながら縞模様が形成された。この観察点では1時間経過時点ですでに縞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。ただし、時間が経過すると、4観察点全てでほぼ様な様相となった。Figure 3に、印加時間と軸方向の損傷幅との関係を示す。図中には、鋼球と内輪Bの理論接触楕円長直径 $2a = 2.69\text{ mm}$ のところに線を引いている。 $2a$ に近づくあたりから進展速度が急激に減少しているが、この後に観測した4点間の差異は小さいことが分かる。

Figure 4に、400時間経過時の内輪B転走面とその断面形状を示す。写真で白く映る部分が谷、黒く映る部分が山であることがわかる。その高低差は約 $3\text{ }\mu\text{m}$ である。また、山頂にも微小なくぼみが見られ、谷底に近くなるほど粗さが大きくなる傾向が認められる。

Figure 5に、 $t = 2\text{ hr}$ のときの写真を画像処理し、円周方向の輝度分布を調べた結果を示す。電食痕によって輝度の波が認められる。そこで、輝度分布に対して高速フーリエ変換(FFT)を実施した。得られた振幅スペクトルをFig. 6に示す。この場合、頻度が $3.4\text{ mm}^{-1}$ 付近にピークが認められる。Figure 7は、このピークにおける波長（頻度の逆数）の時間変化を示したものである。Point 2にお

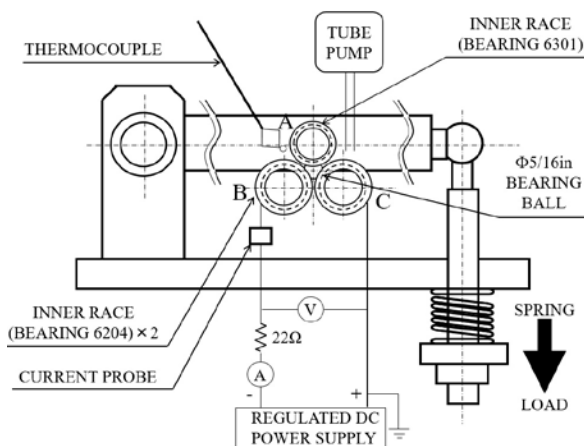


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

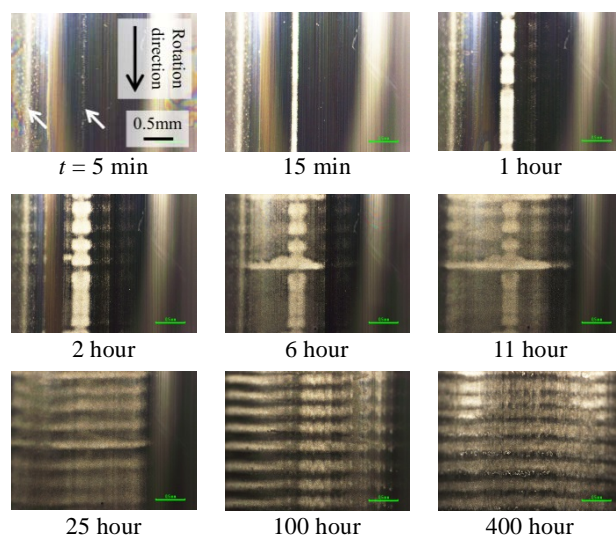


Fig. 2 Variation of the rolling contact surface

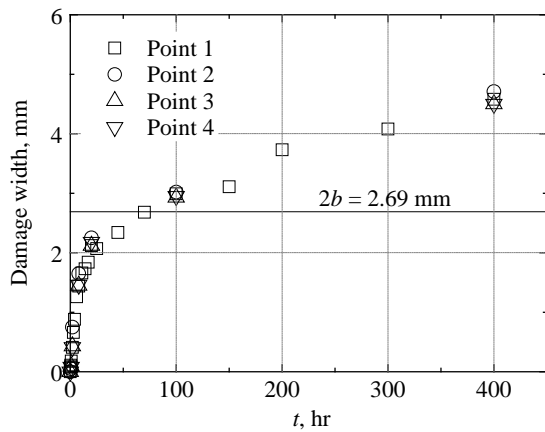


Fig. 3 Time variation of damage width

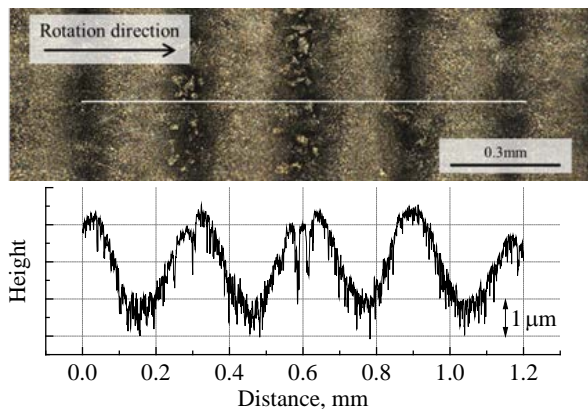


Fig. 4 Top view and the cross sectional shape of the ridge mark at  $t = 400$  hr.

いては  $t=2$  hr で最終的なリッジマークと同じピッチの濃淡が形成されている。また、4 点全てで 25 時間以降の波長が約 0.3mm となっており、この時点で既に最終的なリッジマークのピッチが決定されていたことになる。

#### 4. 考察

Figure 3 と 7 を比較すると、軸方向の損傷幅が急激に拡大していく過程でリッジマークのピッチはほぼ決定され、その値は、理論接触楕円短直径  $2b=0.128\text{mm}$  の 2 倍より若干大きい程度であることが分かる。このピッチの再現性や必然性についてはさらなる検証が必要であるが、ピッチが  $2b$  に対してこのような値をとる理由として以下のようなメカニズムが想定される。観察結果より、実験初期には円周方向に連続的に電食痕が並び白い筋を呈しているが、時間が経過すると色の薄い部分が発生するとともに、その前後の軸方向の幅が拡大していることが分かる。この色の薄い部分は放電の頻度が減少したと予想される。すなわち、円周上に周囲より放電が生じやすいところが存在すれば、それ以外の場所ではたとえ接触領域内にあっても放電の頻度が減少し、それはさらにその後の放電を困難にさせるのではないかと考えている。ただし、接触領域内に放電領域が必ず存在しなければならないとすれば、放電しない領域の円周方向長さは  $2b$  を超えることはできないことになる。一方、放電領域の円周方向長さが  $2b$  よりも大きければ、その中に放電しにくい領域が生じる可能性が高くなると予想される。その結果、放電する領域も  $2b$  を大きく超えることができず、ピッチは  $4b$  すなわち理論接触楕円短直径の 2 倍近くに落ちつくのではないかと考えている。

#### 5. おわりに

1 つの鋼球を 3 つの内輪ではさむ転動接触試験機を用いて電食実験を行い、リッジマークのピッチが確定される過程を観測した。

#### 文献

- 1) 野口：スラスト玉軸受を用いた電食リッジマーク形成過程の観察，トライボロジスト，61-7 (2016) 467.
- 2) 古谷・西川・松田・砂原・山本：電食による損傷の進展挙動，トライボロジー会議2013春 東京 予稿集(2013),D14.

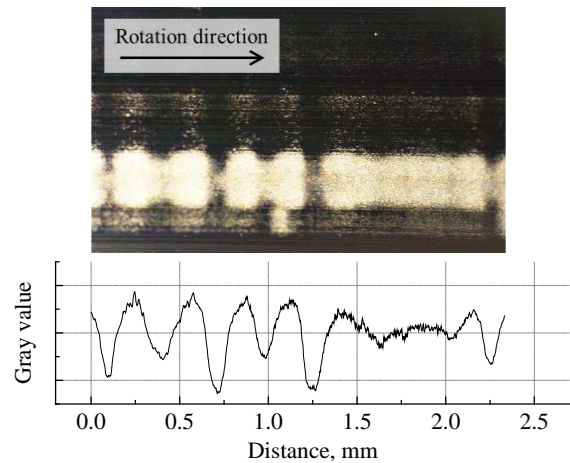


Fig. 5 Top view and the luminance distribution of the ridge mark at  $t = 2$  hr.

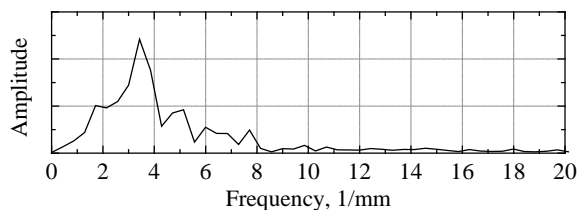


Fig. 6 Frequency spectrum of the luminance distribution in Fig. 5.

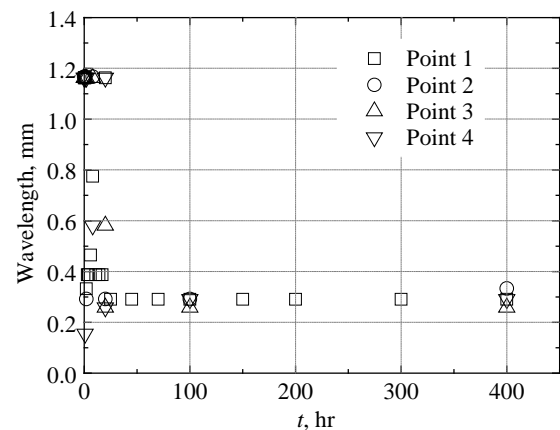


Fig. 7 Time variation of the wavelength of the ridge mark