

## 初期なじみが転がり滑り接触下の疲労寿命に及ぼす影響

Effect of initial running-in on fatigue life under rolling-sliding contact

名工大（学）\*野田 隆悟 名工大（学）光岡 良将 名工大（正）劉 暁旭

名工大（正）前川 寛 名工大（正）糸魚川 文広

Ryugo Noda\*, Ryosuke Mitsuoka\*, Xiaoxu Liu\*, Satoru Maegawa\*, Fumihiro Itoigawa\*

\* Nagoya Institute of Technology

### 1. はじめに

歯車や転がり軸受といった機械要素で生じる転がり滑り接触は過酷な接触状態となり得て、その際には著しい摩耗や疲労損傷が発生する。このような表面損傷は機械精度の悪化や振動増加を引き起こすため、表面損傷の発生を抑制できる最適な表面形状が求められる。表面形状を決定する上で粗さを小さくすることが一般的であるが、粗さが小さい場合ではうねりの影響を受けやすくなり、必ずしも疲労損傷を抑制できないことがある。一方で、粗さが大きいと突起高さが高いためうねりの影響は受けにくい初期なじみ時の塑性変形量が大きく、塑性変形時に欠陥が内部に導入され、疲労寿命を低下させる。つまり最適な表面形状を決定するためには、初期なじみ時に内部に導入される欠陥を抑制しながらも負荷能力が高い形状を作り出せる初期形状を考える必要がある。

そこで、本研究ではうねりの影響を受けにくい程度の突起高さを有する試験片、および同等の突起高さを有する試験片に対し研磨により予め初期なじみ程度のトランケート加工を施したものを準備しピッチング寿命を調査した。この実験結果から突起頂部の初期塑性変形の低減によるピッチング抑制効果について検証した。

### 2. 実験装置および実験方法

Figure 1 に著者らが開発した円筒試験機の概略図を示す。本装置は容易に試験途中の試験片脱着による観察および分析を行うために設計した転がり滑り試験機である。観察対象である試験ローラは試料サイズに限界があるような分析装置でも非破壊分析が可能な小径（直径 10 mm）で設計されている。また、小径のローラでも試験荷重によるアライメントのずれが生じない四円筒方式を採用している。

実験は Table 1 に示す条件で行った。試験ローラと駆動ローラの平均周速が 3.3 m/s になるように試験ローラの回転数は 6000 rpm、駆動ローラの回転数は 1184 rpm でサーボモータにより制御されており、任意のすべりを与えることで転がり滑り接触を再現している。一方、二つの支持ローラは試験ローラに連れまわす純転がり接触である。また、支持ローラは幅 3 mm の溝を切り二股にすることで、試験ローラと支持ローラの接触領域が試験ローラと駆動ローラの接触領域と重ならないようにした。

試験ローラおよび駆動ローラは材質がそれぞれ SCM420, SUJ2 でありロックウェル硬さ HRC で 63, 61 である。各ローラの表面はエメリー紙で周方向に研磨して、試験ローラは十点平均粗さ  $R_{zjs}$  で約  $3 \mu\text{m}$  になるように調整し、駆動ローラは二乗平均平方根粗さ  $R_q$  で約  $0.2 \mu\text{m}$  になるように調整してある。また、追加で仕上げ加工を行う試験ローラは番手の大きいエメリー紙を用いて粗さ突起をトランケートした。このとき、仕上げ加工を行わずに試験した試験ローラのなじみが十分に進行した状態よりも粗さが小さくならないように仕上げを行う。

分析は任意の繰り返し数において試験を中断し試験ローラを取り外し、触針式粗さ計による断面曲線の測定、レーザ顕微鏡による表面の観察を行う。その後、試験ローラを付け直し試験を継続する。

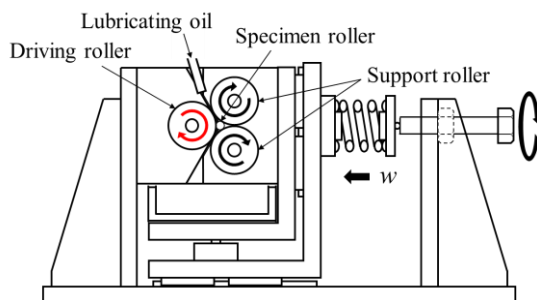


Fig. 1 Four-disk friction tester

Table 1 Experimental conditions

|   |       |
|---|-------|
| Lubricating oil                           | ATF   |
| Minimum oil film thickness, $\mu\text{m}$ | 0.055 |
| Film parameter                            | 0.09  |
| Slide-roll ratio, %                       | -10   |
| Load, N                                   | 940   |
| Oil temperature, $^{\circ}\text{C}$       | 80    |

### 3. 実験結果および考察

巨視的なピッチングが発生したタイミングでの繰り返し数を寿命として比較を行う。仕上げ加工を行わず試験を開始し一般的ななじみ過程を経た試験片（以下、一般なじみ試験片と呼ぶ）は繰り返し数  $3.9 \times 10^7$  で、仕上げ加工を施し人工的ななじみ面を創製したのちに試験を開始した試験片（以下、人工なじみ試験片と呼ぶ）は繰り返し数  $8.5 \times 10^7$

でピッチングが発生した。

Figure 2 に触針式粗さ計を用いて測定した各試験片のプロファイル曲線の経時変化を示す。Figure 2 より両条件ともに繰り返し数  $10^4$  でトランケート面が形成され、なじみが十分に進行していることがわかる。試験開始時から繰り返し数  $10^4$  までの変形量は仕上げ加工により高い山部分がトランケートされた人工なじみ試験片の方が少ない。また、繰り返し数  $10^4$  から  $10^7$  までの粗さ形状変化はどちらも同程度の摩耗が進行しており、なじみ後の差はあまりないといえる。

次に Fig. 3 にレーザ顕微鏡を用いて測定した接触面全体の経時観察画像を示す。Figure 3 より繰り返し数  $10^6$  で両条件ともにマイクロピッチングが発生し始め、 $10^7$ ,  $3 \times 10^7$  と繰り返し数が増すごとにマイクロピッチングの数が増加していることがわかる。マイクロピッチングの発生数としては一般なじみ試験片の方が多く、一つあたりの大きさも一般なじみ試験片の方が大きい。また、人工なじみ試験片で発生したマイクロピッチングは接触面の両端に分布していることがわかる。

以上の結果から人工なじみ試験片が一般なじみ試験片よりも長寿命になった理由を考察する。繰り返し数 0 では一般なじみ試験片に対して人工なじみ試験片は表面がくもって見える。これは仕上げ加工することによって表面に小さな加工目や傷が生じているからだと考えられるため、人工なじみ試験片において発生したマイクロピッチングは仕上げ加工時に導入された欠陥が起点となったと考えられる。接触面両端に分布している理由としては、接触面両端は仕上げ加工により欠陥を取り除けないほどなじみ時の摩耗が穏やかであり、一方で、接触面中心では塑性変形量が減りながらも適度に摩耗が進行したことで欠陥が除去されマイクロピッチングの発生が抑制されたからだと考えられる。そして、人工なじみ試験片では接触中心においてマイクロピッチングが抑制されることで、はく離周辺の応力集中が起りにくくなりピッチング寿命が向上したと推察される。また、初期なじみ時の塑性変形が低減されたことにより塑性変形時にサブサーフェイスに導入される欠陥も抑制されピッチング寿命が向上したと考えられる。

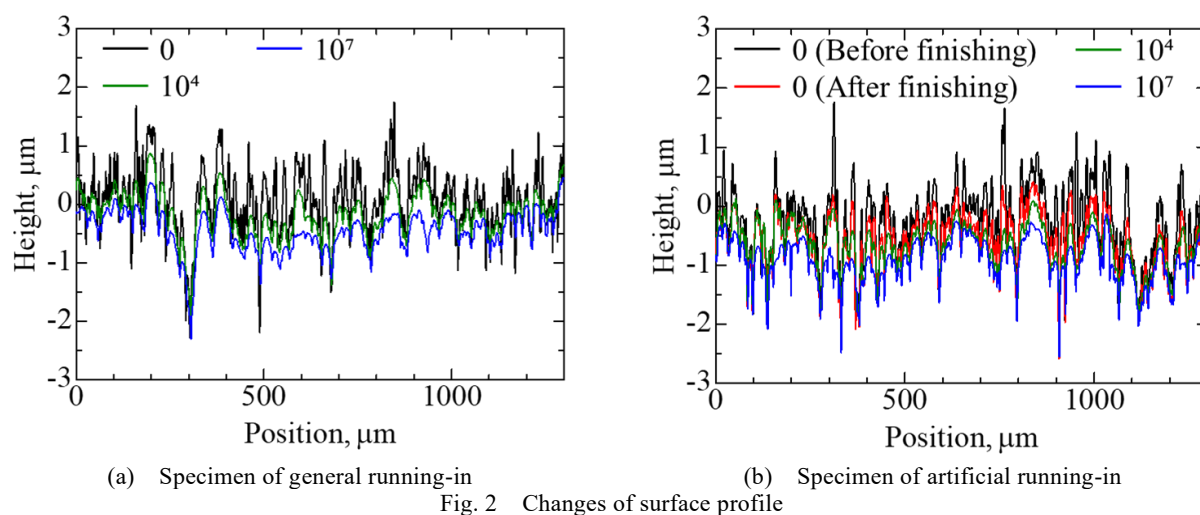


Fig. 2 Changes of surface profile

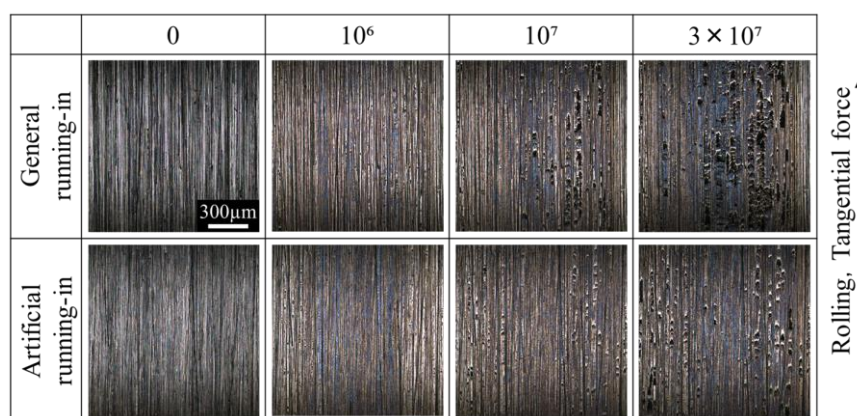


Fig. 3 Confocal laser microscope images

#### 4. おわりに

表面粗さは初期に塑性接触を生ずることで、Hertz 接触で見積もられる応力に比べ実効的な接触応力を緩和し、応力振幅を低減するため、場合によっては疲労寿命に有利であるが、塑性変形により表面、および表面直下へ欠陥導入する場合があるため、粗さオーダのマイクロピッチングの起点となる。これが集積する環境では、結果として巨視的ピッチングに至るため欠陥導入の少ない手法でのトランケート処理が寿命向上に有利であると考えられる。