

# 油中におけるすべり接触によるピッチングの発生

## Generation of pitting in sliding contact in oil

東北大・工（院）\*下総 典充 トヨタ自動車東日本（正）小池 亮 東北大・工（正）足立 幸志

Norimitsu Shimofusa\*, Ryo Koike\*\*, Koshi Adachi\*

\*Tohoku University, \*\*Toyota Motor East Japan, Inc.

### 1. 緒言

転がりすべり接触条件において接触面に高い応力が繰り返し付加されることで摩耗形態の一種であるピッチングが発生する。機械機器の小型化に伴い、ピッチングの発生頻度が顕在化しており、さらなるピッチング抑制のための研究開発が必須である<sup>1)</sup>。一方、ピッチングの研究には、実機や二円筒試験機等転がり接触における長期試験が用いられるため、長期にわたるピッチング発生部の経時的変化の追及が極めて困難であり、より簡便な試験評価法の開発が望まれる。

そこで本研究では、すべり摩擦試験を用いたピッチング発生の可能性とその必要条件を明らかにし、ピッチング発生部の経時的変化の追及の可能性を実証する。

### 2. 実験方法

本研究では、恒温槽内の潤滑油に摩擦部を浸漬させたボールオンディスク型摩擦試験機を使用した。ボール及びディスク試験片には直径 8 mm の軸受鋼 (SUJ2, HV 850) 及び直径 30 mm, 厚さ 4 mm の SUJ2 を用いた。ボールに対し間欠接触を与えるためディスク試験片には、50, 100, 200  $\mu\text{m}$  の 3 種類の間隔(条痕ピッチ)を有する高さ 10  $\mu\text{m}$  の一方方向条痕加工を施した。その表面形状の一例を Fig. 1 に示す。摩擦はすべり速度 0.5 m/s, 荷重 5, 15, 25 N で行った。潤滑油にはポリアルファオレフィン(PAO) を基油とし、硫化オレフィン, リン酸エステル等の添加剤を含む市販のディファレンシャルギアオイル (ギア油), 基油に硫化オレフィンを添加した油 (PAO+S) 及び基油用い, 油温は 80  $^{\circ}\text{C}$ 一定とした。

### 3. 実験結果及び考察

Figure 2 に、3 種類の荷重条件及び潤滑油において得られた定常時の摩擦係数及びボールの摩耗率に及ぼす条痕ピッチの影響を示す。摩擦は条痕ピッチによる大きな変化は見られないのに対し、潤滑油にリン酸エステルを添加することにより、ボールの摩耗率は一桁減少することが分かる。さらにギア油中においては、条痕ピッチの増加に伴い、摩耗は増加しており、ボールの摩耗に対し、ディスク上の条痕が影響を及ぼすことは明らかである。続いて条痕間隔 200  $\mu\text{m}$  のディスクを用いた場合の基油及びギア油中で観察された典型的

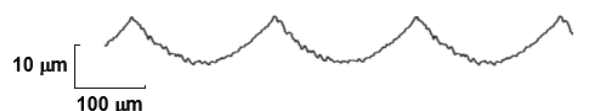
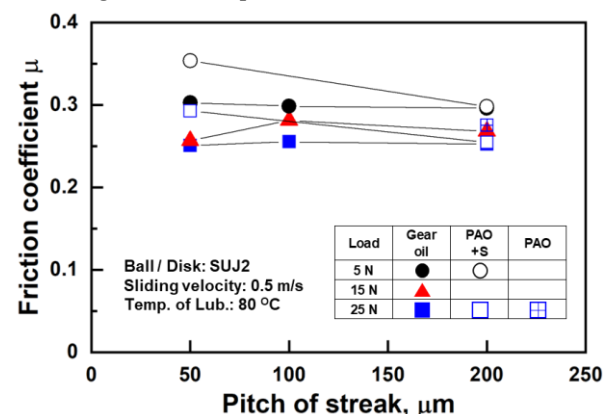
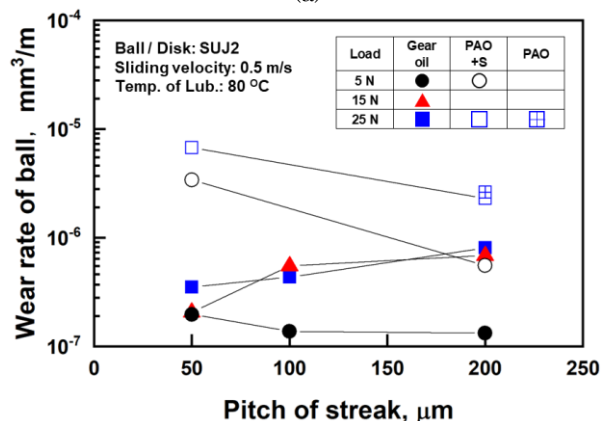


Fig. 1 Surface profile of disk with streak.



(a)



(b)

Fig. 2 Effect of pitch of streak on (a) friction properties and (b) wear rates of ball under 5, 15, 25 N of load in three types of lubricants.

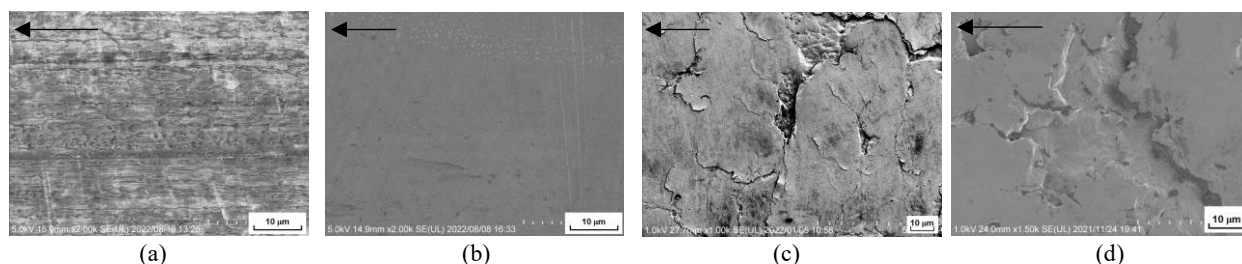


Fig. 3 SEM images of representative wear scars of ball sliding against disk with 200  $\mu\text{m}$  pitch of streak under 25 N of load in (a) PAO and (b)-(d) gear oil. (a), (b): Typical wear scar observed in sliding contact, (c), (d): Pitting-like surface. The arrows indicate sliding direction of mating surface.

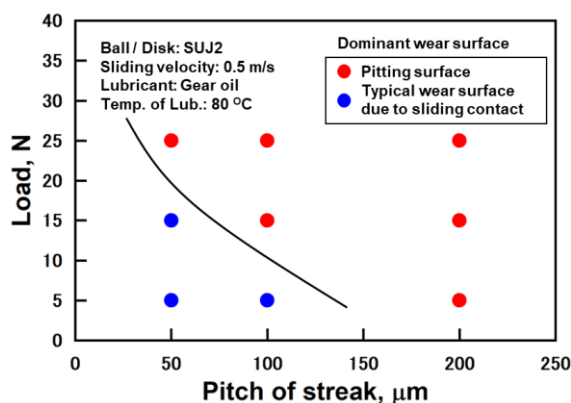


Fig. 4 Distribution of two types of wear surfaces observed in friction in commercial gear oil as functions of pitch of streak and load.

なボール摩耗面の SEM 像を Fig. 3 に示す。いずれの潤滑油中においても、すべり摩擦に特有の摩耗痕(a),(b)が発生するのに対し、ギア油中においては、基油中では一切観察されなかったき裂(c)や空孔（ピッチング）(d)が観察されることが分かる。さらに、それらの発生条件は、荷重と条痕ピッチにより Fig. 4 に整理される。高荷重及び広い間隔の条痕を施したディスク試験片を用いることにより、ボール摩耗面にピッチングが発生しており、ピッチングを発生させるための必要条件が存在することを示す結果と言える。

次に、この必要条件について考察する。摩擦実験後のディスク摩耗痕の一例の光学顕微鏡鏡像を Fig. 5 に示す。実験を通し条痕の先端部のみが、ボールと接触した間欠的な接触が与えられていたといえる。Figure 5 に定義する条痕の摩耗痕の幅  $W_d$  と長さ  $L_d$  に及ぼす条痕ピッチ及び荷重の影響を Fig. 6 に示す。条痕ピッチは、一つの条痕上の摩耗形状に大きな差を与えていないことが分かる。Figure 2 に示すボール摩耗痕に対し Fig. 6 に示す条痕上の摩耗痕がすべりながら接触する際、ボール摩耗面においては、間欠的な荷重と接線力が与えられる。ボールとディスクの接触面積が最小となる位置で付加される接触圧力を最大の接触圧力と定義すると、その値は、条痕ピッチと荷重により Fig. 7 に整理される。すべり接触においてピッチングが発生する必要条件が、最大接触圧力に依存する可能性を示唆する結果と言える。

最後に、ピッチングが発生する荷重 25 N、条痕間隔 200  $\mu\text{m}$  条件において 1000 サイクル毎に試験を中断し計測したボール摩耗痕上のピッチングが占める面積率および摩耗量の変化を Fig. 8 に示す。ピッチング面積率が急増する疲労現象が明示されており、ピッチング発生部の経時変化追及のための本手法の有効性を示す結果と言える。

#### 4. 結言

条痕を施した軸受鋼ディスクと軸受鋼ボールのすべり摩擦において、以下の結論を得た。

- (1) 一定の荷重と条痕ピッチ条件を満たす時、ギヤ油中すべり摩擦において、ピッチングが発生し得る。
- (2) 基油及び基油に硫化オレフィンを添加した潤滑油中では、ピッチングは発生しない。

#### 文献

- 1) 市橋俊彦, 横溝真人, 松本将, ラジアルニードルベアリングのピッチング寿命に及ぼす潤滑油添加剤の影響, トライボロジスト, 54, 6 (2009) 412–418.



Fig. 5 Representative wear scar of the disk with streak, and definition of “wear width and length” of the disk.

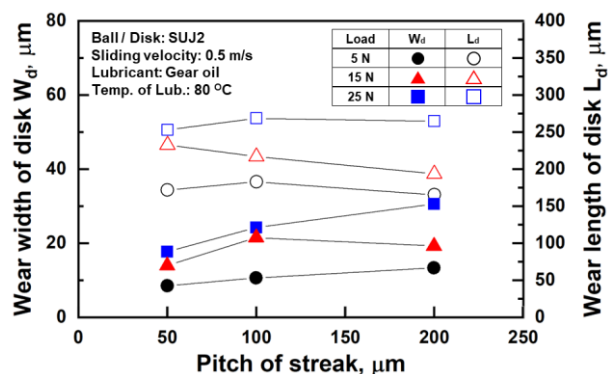


Fig. 6 Effect of pitch of streak on length and width of wear scar of the disk in gear oil.

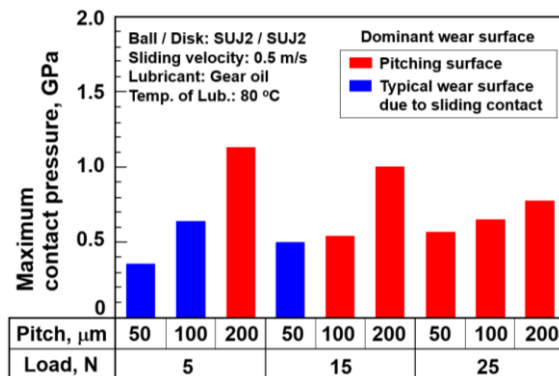


Fig. 7 Effect of pitch of streak and load on maximum pressure calculated by wear scar after friction test in gear oil.

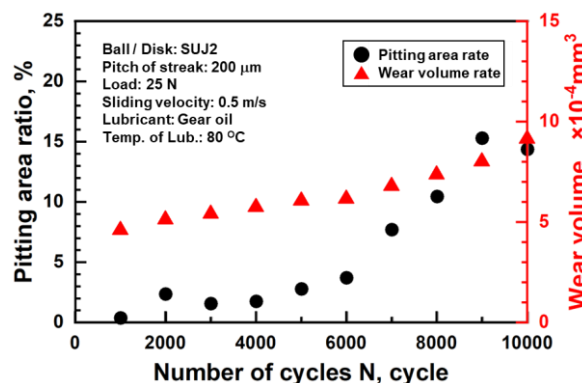


Fig. 8 Pitting area ratio and wear volume of ball with number of friction cycles.