

磁場環境下におけるフレットング摩耗現象の その場観察

那須 裕規^{*1}, 妻木 翔太^{*2}

In Situ Observation of Fretting Wear Phenomenon under Magnetic Field

Yuki NASU, Shota TSUMAKI

This paper, the effect of magnetic field on fretting wear of a glass flat specimen in contact with a steel ball has been investigated by in situ observation. The test carried out using a designed piezoelectric fretting wear testing apparatus. The amplitude of the fretting test was 4 μ m and frequency of 5Hz. The normal load on the contact between a glass flat specimen and a steel ball was 7N. Vertical magnetic fields of 0.2 and 0.35T, created by permanent magnets, were applied to the contact point. The experimental results show that fretted annular spread under the magnetic field.

KEYWORDS : Fretting Wear, In-site observation, Magnetic field, Stick-Slip

1. はじめに

機械や構造物には必ず部品同士の接触箇所が存在し、フレットングが生じる。ボルト締結部や回転軸受部などでは、フレットング摩耗により締付力の低下や回転不良等が発生するため、設計・保守の重要な課題である。しかし、フレットング摩耗は常に材料同士が接触した状態で摩耗が進行するため、接触摩擦面に生じる摩耗の様子を捉えることが困難である。また、近年では技術の進展により、発電機やリニアモーターなど、様々な環境下で磁場が使用され、これらも同様にフレットング摩耗への対策が必要である。さらに、磁場環境下においてはフレットング摩耗が促進あるいは緩和するという報告¹⁻²⁾も見られ、磁場環

境下でのフレットング摩耗機構を明確化する必要がある。

そこで、本研究ではフレットング摩耗に及ぼす磁場の影響を、その場観察型フレットング摩耗試験装置を用いて、摩耗の様子を直接観察することにより、摩耗現象を明確化することを目的とする。

2. フレットング摩耗試験装置

2. 1 試験装置の構成

図1にフレットング摩耗試験装置³⁾を示す。本試験装置は、上部から光学顕微鏡を通して、摩耗進展の様子を直接観察しながら実験を行うこと

*1 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: ynasu@oyama-ct.ac.jp

*2 IHI 運搬機械株式会社(2013 年度修了)

が可能である。接触方式には、理論的な取り扱いが容易な球面／平面の Hertz 接触を採用し、接触荷重は常に一定の荷重が与えられる死荷重方式を用いている。接触面周辺部には磁場が影響しないよう非磁性体のアルミニウムを使用した。また、上板部には $\phi 40\text{mm}$ の穴を設け、上方から顕微鏡を用いて接触部を直接観察でき、さらに磁石を設置できるようにした。球側の試験片は保持器によって固定され、保持器はリニアガイドを介してベース部分に結合されている。保持器に圧電アクチュエータで振動振幅を与えると、アルミニウムパイプの反力によって往復振動が得られる。また、平板と鋼球間の相対すべり量を測定するため非接触変位計(ギャップセンサー)を取り付けた。

3. 実験方法

実験は、光学顕微鏡を用いて摩耗進展の様子と摩耗領域の大きさを顕微鏡と接続されているモニターを用いてリアルタイムに観察する。実験中の様子を図2に示す。試験片には直接観察を行うため透明なガラス板と、強磁性体である SUJ2 鋼球を使用した。また、試験片の寸法、および材料の硬さと表面粗さを表1に示す。

磁場環境下における実験は、図3に示すように永久磁石を用いた。磁石はドーナツ型のサマリウ

ム-コバルト磁石(外径 $\phi 17$, 内径 $\phi 3$, 厚さ 5mm)を用い、1個、2個の2条件とし、ガウスメータにより接触面近傍の磁束密度 B を測定した結果、それぞれ 0.20T (テスラ), 0.35T である。また、磁石を設置すると鋼球との間に吸引力が作用するため、おもりの重さを調節することにより無磁場の場合の負荷荷重と同じになるよう調整した。磁場を与える方向は、試験片の接触面に対して垂直方向とした。

実験条件を表2に示す。実験は無潤滑状態において、室温 $20\sim 25^\circ\text{C}$, 湿度 35% の状態で行なった。

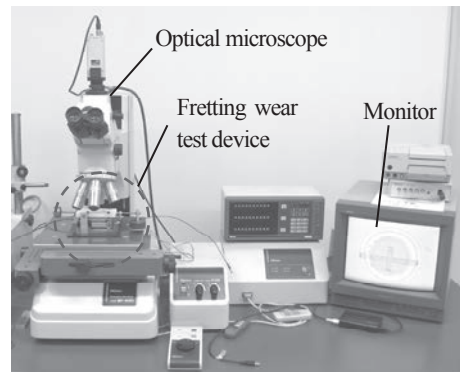


図2 光学顕微鏡によるその場観察

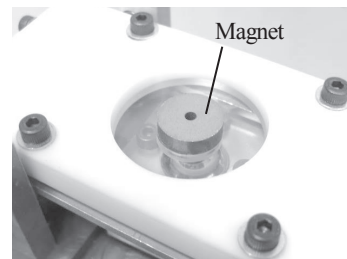
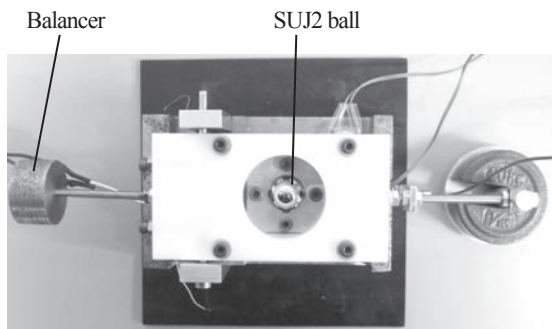
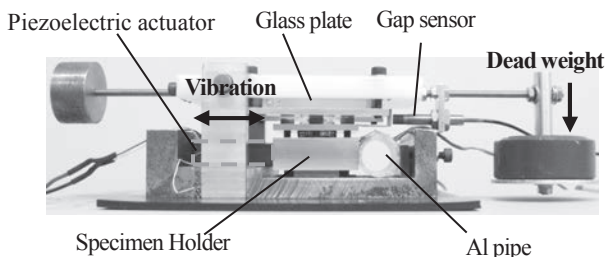


図3 接触面への磁場の供給方法



(a) 平面図



(b) 正面図

図1 フレッチング摩耗試験装置

表1 試験片の寸法, 材料の硬さと表面粗さ

Specimen	Dimension[mm]	Hardness[HV]	Surface roughness[μm]
Glass plate	50×50×5	550	0.004
SUJ2 steel ball	$\phi 20$	850	0.105

表2 実験条件

Magnetic density B [T]	Applied load P [N]	Fretting slip range D [μm]	Frequency f [Hz]	Number of cycle N
0.20 and 0.35	7	4	5	10^5

4. 実験結果および考察

4.1 摩耗領域の変化

磁場の有無による摩耗領域の変化を図4に示す。無磁場に比べ磁場中では摩耗領域の外径には大きな差は見られないが、摩耗領域の内径は大きく減少した。繰返し数 10^5 回の無磁場での値を基準に比較すると、摩耗領域の外径は $B=0.20\text{T}$ で5.7%増加、 $B=0.35\text{T}$ で0.5%減少するが差は小さい。一方、内径は $B=0.20\text{T}$ で24.3%、 $B=0.35\text{T}$ で18.8%減少した。したがって、磁場が存在すると、摩耗領域の内径が小さくなるため、固着域(摩耗していない箇所)が縮小することがわかる。

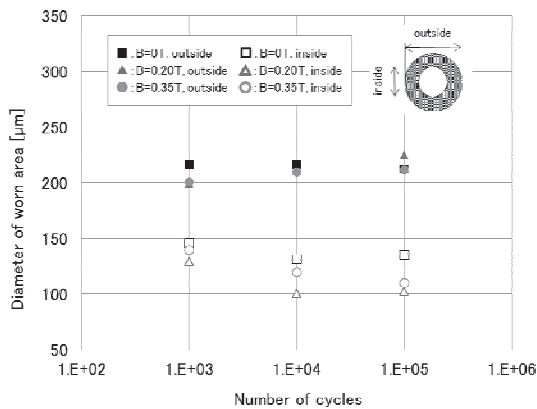


図4 繰返し数に伴う摩耗領域径の変化

4.2 摩耗の経時変化

図5は各繰返し数で摩耗進展の様子を静止画像として比較した結果である。ガラス平板を鋼球に接触させると、接触領域の周りには数本のニュートンリングが確認できる。

摩耗進展の様子を観察すると、磁場の有無に関わらず、摩耗開始から 10^3 回までが最も摩耗が早く進行し、円環状の摩耗痕が形成される。 10^4 回を越えると摩耗の進展が遅くなり、さらに、 $10^3 \sim 10^4$ 回の間で片側にき裂が発生し、 $10^4 \sim 10^5$ 回の間で反対側にき裂が生じることがわかった。き裂は振動方向に対し垂直方向に発生する傾向があり、最終的には両側にき裂が発生したのち、それぞれ $20\mu\text{m}$ まで進展した。き裂は摩耗粉の発生速度が緩やかになると発生し、鋼球から生じた黒色の摩耗粉が接触面内に堆積し、ガラス表面に損傷を与えたことにより、き裂が発生したものと考えられる。

磁場の有無で摩耗進展の様子を比較すると、無磁場に比べ磁場中では摩耗の開始がより内側から進行することが分かる。また、接触面近傍では、繰返し数の増加に伴い摩耗粉が接触面外へ排出されるが磁場の有無による差は小さい。一方、円環状摩耗痕の内径は $10^3 \sim 10^4$ 回の範囲で比較すると、磁場中では内径が大きく減少している。これは、磁束密度の高い鋼球の中心へ摩耗粉が引き寄せられることで摩耗領域が拡大したと考えられる。

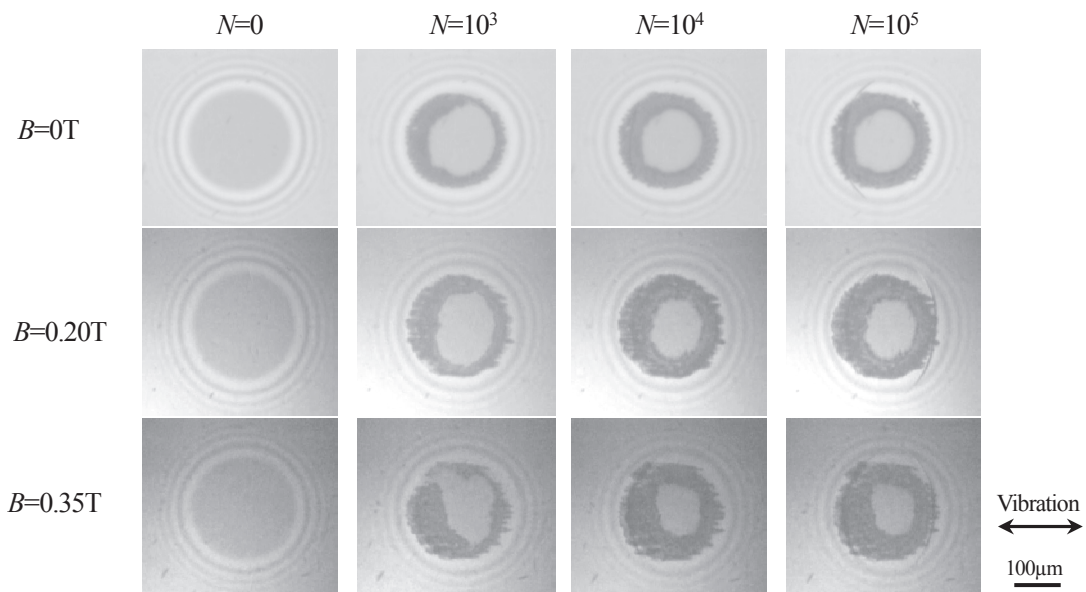


図5 繰返し数に伴う摩耗領域の変化

図6は繰返し数 10^5 回の鋼球側の摩耗痕の様子を示している。無磁場では比較的微細なガラス摩耗粉の付着が見られるが、磁場中ではガラス摩耗粉の付着している面積が無磁場中より広い。また、無磁場では鋼球側の摩耗粉が外側に多く見られるのに対し、磁場中では全体的に広がっている。

図7は繰返し数 10^5 回のガラス平板の摩耗痕の様子を示している。振動方向に対し垂直に弓状の形をしたき裂が見られる。き裂の中には鋼球から発生したと考えられる黒い摩耗粉が堆積している。摩耗領域は磁束密度が高くなると固着域が小さくなることから分かる。ガラス平板は非磁性体のため磁力の影響を受けないため、摩耗領域の増加の要因は鋼球側から生じた摩耗粉の影響が大きいと考えられる。

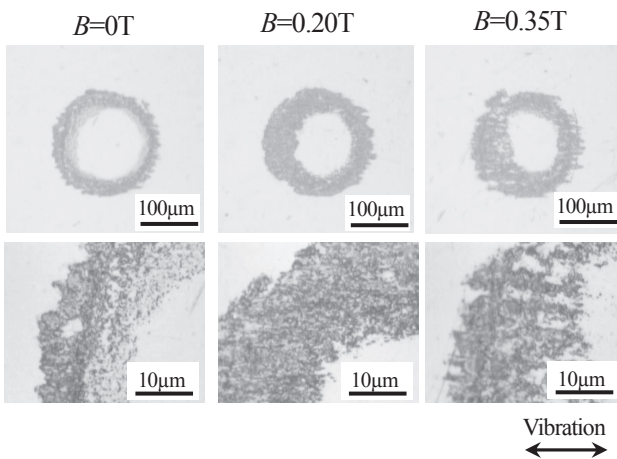


図6 鋼球の摩耗痕 ($N=10^5$)

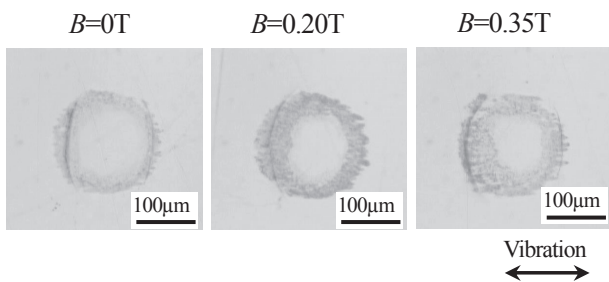


図7 ガラス平板の摩耗痕 ($N=10^5$)

4. 3 表面粗さの比較

図8はガラス平板の表面粗さを磁場の有無で比較した結果を示している。 $B=0T$ では固着域が約 $120\mu m$ であるのに対し、 $B=0.20T$ 、 $0.35T$ では10~20%減少した。また、磁場の有無に関わらず、き裂付近が最も粗く、その周辺では粗さの違いは見られなかった。

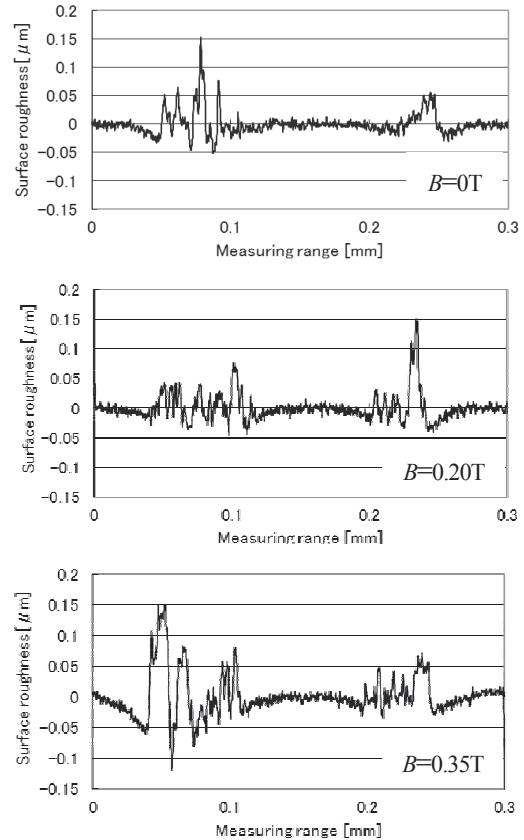


図8 ガラス平板の表面粗さ

5. 結言

磁場の有無におけるフレッシング摩耗の進展状況をその場観察した結果、以下の結果が得られた。

- (1)本実験条件におけるフレッシング摩耗試験では、摩耗痕は円環状となり、摩耗の進展は外径に比べ内径の方が変化は大きく、無磁場に比べ磁束密度 $B=0.20T$ 、 $B=0.35T$ の磁場中では内径が大きく減少する。その結果、磁場中では摩耗領域が拡大する。
- (2)磁場の有無に関わらず、摩耗の進展が遅くなる $N=10^3$ 回以降にき裂が生じる。

参考文献

- 1) 那須裕規, 佐藤建吉; 日本機械学会論文集(A編), 75 754 (2009) 767-773
- 2) 那須裕規, 佐藤建吉; 日本機械学会論文集(A編), 74, 743 (2008) 1026-1030.
- 3) 那須裕規, 山崎壮真, 富田洋佑; 小山工業高等専門学校研究紀要, 45 (2011) 73-76

【受理年月日 2015年 7月21日】