

電位差を有する衝突面における電食ピットの観測

Observation of Electrical Micropitting on Impact Surfaces Subjected to a Potential Difference

九工大・院（正）*稲田 竜也 九工大・工（正）松田 健次

Tatsuya Inada, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

1. はじめに

電食によって軸受転走面にはクレーター状のピットが形成されることが知られている。電食が進展してリッジマークが形成されると騒音や振動の発生源となり、致命的な機能低下をもたらす。そのため防止策の確立が強く求められているが、研究者によってリッジマークが発生する極性が異なるなど、発生メカニズムには不明な点が多い。また前報¹では、電圧印加された軸受は接触状態にあることを示唆する結果が得られたが、分離状態と接触状態でピットの形成にどのような相違があるかについて必ずしも明らかでない。

そこで本研究は、反発硬さ試験を利用して極性ならびに接触・非接触状態の相違が電食ピットの形成に及ぼす影響を検討したものであり、ハンマ反発挙動と通電のタイミングの関係および両衝突面でのピットの発生状況を観測した。

2. 実験方法

実験には、先の研究²⁾で用いた反発試験装置を用いた。Figure 1 に装置の概略図を示す。ハンマは釣り糸 3 本で上下運動可能なハンマステーから吊り下げられておられ、ソレノイドに通電することでハンマステーに下向きの撃力を与え、糸がたわむことによってハンマが下部試験片表面に自由落下する。また、衝突後のハンマはバネによって引き上げる構造となっている。ハンマの先端には、直径 6.35 mm の軸受鋼球が取り付けられている。質量は 73.5 g である。下部試験片にはスラスト玉軸受 51107 の軌道輪の背面を鏡面研磨したものを、修正液で試料台に固定した。ハンマと下部試験片間に、Fig. 2 に示す回路を用いて電圧を印加し、両物体間の電圧から衝突面間の電流 I_B を求めた。また、同回路中のスイッチを a から b に切り替え（以下、接触検知回路と記す）、衝突面間電圧 V_B を測定した。ハンマ反発挙動は、ハンマ上端にレーザードップラー振動計のレーザーを照射することにより計測した。潤滑油には VG46 ($\nu=46 \text{ mm}^2/\text{s}$ @40°C) を用い試験片表面に塗布した。実験では接触検知回路にて反発試験を行い接触状態を確認後、印加回路に切替え同条件で反発試験を行った。

3. 結果および考察

3.1 無潤滑状態でのハンマ挙動と電流波形

Figure 3 は潤滑油が無い状態（以下 DRY と記す）の結果であり、落下高さ h は 3 mm である。(a) は接触検知回路より得られた 1 打目におけるハンマ上端速度 v_H と衝突面間電圧 V_B の経時変化である。ここで、速度は鉛直上向きを正としており、横軸は、ハンマ速度が 0 になった時刻を 0 としている。 $V_B = 0 \text{ V}$ となる領域で速度が負から正へと変化しており、ここでハンマと試験片が接触したと考えられる。なお、下向きの速度が最大になるよりも $2 \times 10^{-5} \text{ s}$ 程度早く $V_B = 0 \text{ V}$ となっているが、これは、衝突によるハンマの弾性変形のためだと考えている。

(b) は、電圧印加回路で実施した 2 打目の v_H と I_B の経時変化である。衝突時には短絡時の理論値 $I_B = 1.4 \text{ A}$ に近い電流が流れていることが分かる。ここで、(a) と (b) の速度波形はほぼ重なることが確認されたため、(a) の V_B と (b) の I_B を同一の時間軸上で比較したものを (c) に示す。 I_B は $V_B = 0$ となるよりもわずかに早く増加し始め、 $V_B = 0$ が終了した直後からわずかに値が減少し、 $2 \times 10^{-5} \text{ s}$ 程度遅れて 0 A となっている。 I_B と V_B で印加している電圧が異なるため厳密な比較は難しだが、この結果は、衝突前後ですき間が存在する状態で通電、すなわち放電が

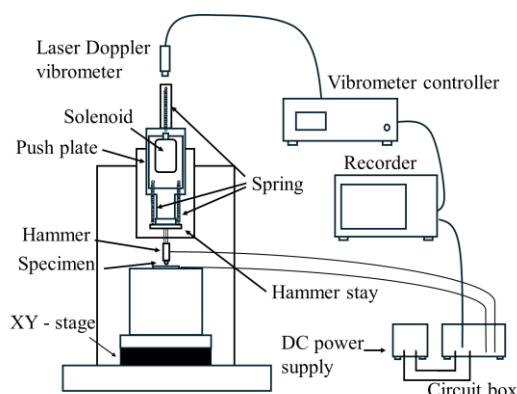


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

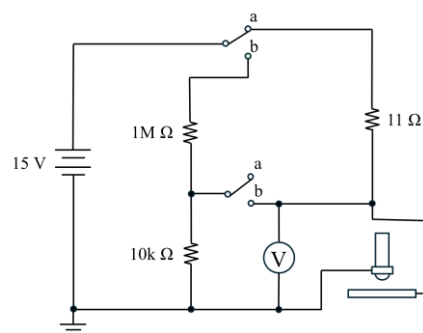


Fig. 2 Schematic diagram of the circuit

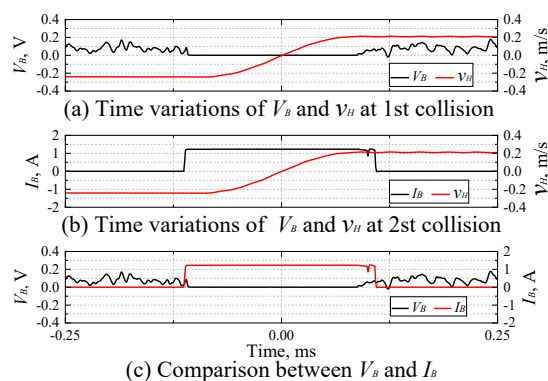


Fig. 3 Relation of velocity, current and voltage in the DRY condition

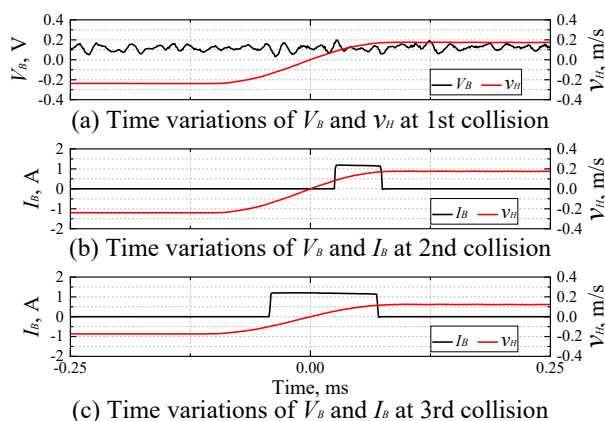


Fig. 4 v_H , V_B and I_B for $h = 3$ mm in the OIL condition

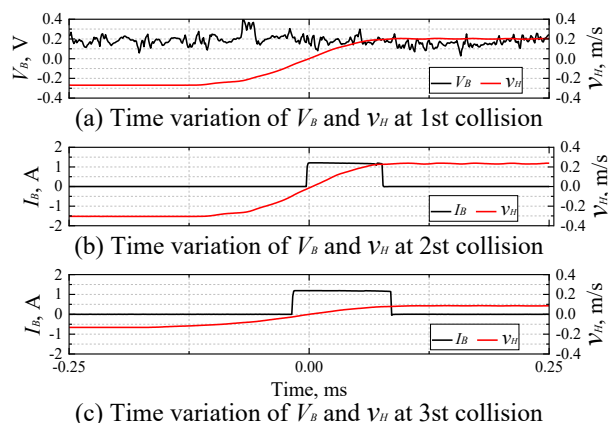


Fig. 5 v_H , V_B and I_B for $h = 5$ mm in the OIL condition

生じている可能性を示唆している。 $V_B = 0$ から $I_B = 0$ となる間で I_B が変化したのは接触から放電に切り替わることで電流の流れに不安定さが生じたためと考える。

3.2 油潤滑状態でのハンマ挙動と電流波形

下部試験片に潤滑油を塗布した状態（以下 OIL と記す）で落下高さ $h = 1 \sim 5$ mm に変更し、ハンマと下部試験片の極性を変えた 10 条件で行った。全試験で接触検知回路での接触は検知することはなかった。印加回路による試験では 10 条件の内、ハンマが負極であり、落下高さが 3, 5 mm の 2 条件のみで通電が確認された。Figure 4,5 に、この 2 条件における v_H , V_B および I_B の経時変化をします。ここで(c)は、(b)の衝突後にハンマを引き上げる前に再び衝突したものである。したがって、衝突速度は(b)よりも低下している。(a)の結果は、衝突時においてもハンマは試験片と接触していないことを示している。(b)の電圧印加回路で実施した 2 打目の結果から、非接触の状態では、時刻 0 すなわち最大押し込み時近傍あるいは除荷過程で通電が開始し、衝突終了とほぼ同時に通電が停止していることが分かる。また (c)では(b)よりも通電の開始は早い。

3.3 ピットの形成状況の比較

Table 1 に、DRY と OIL($h = 5$ mm)で形成されたピットを示す。ハンマと下部試験片のいずれにもピットが観察されたが、ハンマでは同一箇所にピットが重なって存在している。ここで、ハンマと下部試験片のそれぞれで、形成されたピットの直径の小さい順にアルファベットを付記した。なお DRY では、Fig. 3 (b) の衝突後にもう一度衝突したため、印加状態で計 2 回の衝突面である。下部試験片には 4 つのピットが観察されるが、ハンマでは 4 つを明確に識別できないため、2 つのみ付記している。Figure 6 は、各ピットの直径を比較したものである。今回の実験では、ハンマと下部試験片のいずれのピットが同時に形成されたものか分からない、すなわち、同一のアルファベットのものが同時に形成されたとは限らないが、同図からは、極性の違いによりピットの発生状況に著しい差異があるとは言い難い。また、直接接合の有無も形成されるピットの大きさには顕著な影響を及ぼしていないことが分かる。

なお、Fig. 4, 5 (c) における衝突速度は $h = 1$ mm からの落下速度と同程度まで低下していた。1 打目から $h = 1$ mm とした実験では通電しなかったことにより、ピットが形成された面は通電が生じてさらにピットが形成される可能性が高くなると言える。

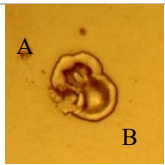
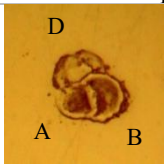
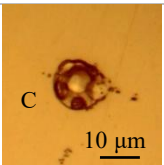

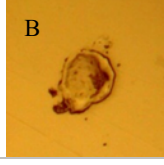

4. 結言

ハンマと試験片間に電圧を印加した状態反発試験を実施し、直接接合する条件でも電食ピットが形成されること、極性の相違によるピットの形成状況に著しい相違はないこと、直接接合の有無は形成されるピットの大きさには顕著な影響を及ぼさないことを明らかにした。

文献

- 1) 川幡・下岡・松田：トライボロジー会議 2025 秋 函館 予稿集（2025）掲載予定。
- 2) 梅田・伊藤・松田：トライボロジー会議 2024 秋 名護 予稿集（2024）C14。

Table 1 Pits on surfaces of balls and specimens after the test

	Hammer	Specimen	
DRY $h = 3$ mm			
OIL $h = 5$ mm			

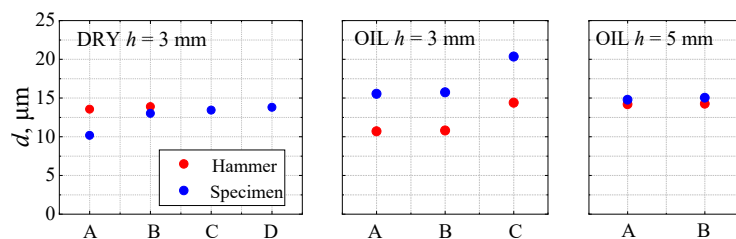


Fig. 6 Comparison of diameter of pits formed in each test