乾燥摩耗と摩擦面の変化

里 吉 超*・清水克久**・葉山房夫***

Dry Friction of Metals and Appearances of Sliding Surface

Masaru SATOYOSHI, Katsuhisa SHIMIZU and Fusao HAYAMA

The relation between the changes in surface appearance and wear of a specimen was observed. The specimen was pin-shaped having a cone tip of 90° . It was slid on a hardened bearing steel disk at a sliding speed of 16.7 cm/sec. under a load of 0.5~2 kg in a dry condition. Appearances of the surface were examined by measuring contact resistance and by optical method.

The results obtained were as follows:

- 1) Specimen of 6:4 brass containing lead: The metal adhered to the disk was little in amount and the wear of the specimen was relatively small in the earlier stage. However, severe wear was initiated when the disk was covered with the transferred metal.
- 2) Specimen of pure iron: The wear of the specimen linearly increased with sliding distance, and no remarkable changes were observed on the sliding surface during the friction up to 1,000 m.
- 3) Specimen of 7:3 brass: The wear process corresponded well with appearances of the sliding surface. For instance, the wear decreased when an oxide was formed on the surface, but it again increased after the break-down of the oxide film.
- 4) Specimen of 4% Sn-Cu alloy: Low contact resistance and low coefficient of friction were observed in the earlier stage, and severe wear abruptly occurred after sliding for some distance. However, the wear was retarded when high contact resistance and high friction, which indicated the formation of the oxide, were observed. No break-down of oxide film was observed for this alloy.

1. 緒 言

摩耗実験を行なう際に、一般に単位すべり距離あたりの摩耗量がほぼ一定になった場合を定常状態と認め、このときの摩耗量を測定することが多い。ところで定常な摩擦が得られるまでのいわゆる初期摩擦を含めて過渡期における摩擦面の変化は複雑である。たとえば摩擦初期には表面に存在するきわめて薄い酸化皮膜により低い摩擦が示されることがある¹⁾²⁾。また、定常状態では摩擦ならびに摩耗に大きな影響を与える酸化物がかなり多量に形成される場合⁴⁾⁵⁾でも、初期には肉眼的にこのような酸化物の生成が観察されない。ここでは、これら酸化物の生成過程あるいは摩擦面状況の変化と摩耗量の関係を詳細に観察することを試みた。

2. 実験方法および試料

実験に用いた摩擦試験機は旋盤用チャックに保持され

* 早稲田大学鋳物研究所（東京都新宿区戸塚町）
Castings Research Laboratory,
Waseda University.

** 日本揮発油株式会社（東京都千代田区大手町）
Japan Gasoline Co., Ltd.

*** 早稲田大学理工学部（東京都新宿区西大久保）
School of Science and Engineering,
Waseda University.

た回転円板試片に小試片を押しつけ、すべり摩擦を行なう形態のものである。この試験機の概要を写真1に示す。摩擦力はストレインゲージを用いたロードセルで測定した。摩擦面間の接触電気抵抗を測定するため、回転軸と外部からの導線の間に水銀接点を採用した。摩擦開始時における試片間の接触状態を一定にするため、小試片は頂角 90° の円錐にした。円板試片のすべり円周20cm（直径6.36 cm）において、すべり速度16.7 cm/s（10 m/

①試片 ②円板試片 ③ロードセル
④ストレインメーター ⑤接触抵抗測定器

写真1 摩擦試験機

min), 荷重 0.5~2 kg の大気中室温における乾燥摩擦を試みた。第1表にその化学組成を示した, 鉛含有 60/40 黄銅, 70/30 黄銅, 4%スズ-銅合金 および 純鉄を円板試片 (焼入軸受鋼第2種, ビッカースカタサ約800, エメリー紙 04 番仕上げ) に対して 1000m までこすらせた。

小試片と回転円板の間の接触電気抵抗および摩擦係数の同時記録を行ない, 摩擦状況を観察した。走行の途中で摩擦量を測定する場合, 重量法によれば小試片を着脱する際に接触状態が変わるおそれがあるので, 円板試片上に認められた摩擦コン幅をコンパレータで測定し, 計算により摩擦量を求めた。なお, この方法で得られた摩擦量は重量法による摩擦量の測定結果と良い一致をみた。摩擦面ならびに摩擦粉の顕微鏡観察, 摩擦粉の電子回折, 微小X線分析などを行なった。

3. 実験結果および考察

試片間の接触電気抵抗は表面の酸化など, その状態はかなり端的に示すことが知られているが^{1), 6)-8)}, 本実験ではシユウ動中における接触抵抗の変化を4つの代表的な型に分類することができた。その一例を第1図に示す。接触抵抗および摩擦面状況の変化は複雑で, 実験の条件によっては, それが必ずしもこの分類にあてはまるとはかぎらないが, その場合には摩擦過程に, これらの型を示す現象がいくつか同時に起こっていると考えることによって説明される。

接触電気抵抗の変化の特徴と摩擦面の巨視的観察の大意は次のとおりである。

A型: 接触抵抗ならびにその変動小。摩擦面の酸化は認められず, 比較的大きい金属摩擦粉を発生。

B型: 抵抗やや小, 不規則な変動を伴う。摩擦面には部分的に薄い干渉色酸化膜の形成をみる。

C型: 接触抵抗大。試片摩擦面が酸化物で様に被覆される。

D型: 抵抗の絶対値は大きくないが, その変化が大で割合に規則的である。摩擦面には薄い酸化膜が部分的に形成され, 摩擦コン上には摩擦粉が多く見られる。本実験では純鉄の場合にのみ認められた。

3-1 鉛含有 60/40 黄銅

第1表 試料の化学組成 (wt%)

鉛含有60/40黄銅	Cu 58.5 Zn 37.5 Pb 2.83
70/30黄銅	Cu 68.4 Zn 31.4
4%スズ-銅合金	Sn 3.8 Cu ハカリ
純鉄	C 0.03 Si 0.07 Mn 0.02 P 0.019 S 0.011

第1図 接触電気抵抗変化による分類

第2図 鉛含有 60/40 黄銅の摩耗曲線と接触抵抗の変化

すべり速度 16.7 cm/s で得られた, すべり距離と摩擦量ならびに接触抵抗の関係を第2図に示した。摩擦はいずれの荷重においても400~500mまでは少なく, これ以後では急激にほぼ直線的に増加している。接触抵抗はいずれの荷重の場合でも, 初期から小さく, 1000mまでの摩擦を通して低い値が保たれ, 酸化物の形成は示されなかった。

約400mまでの, 低い摩擦が示されている場合の円板試片摩擦コンには試片金属の付着が少ないが(写真2-a), 急激な摩擦を呈する場合には, 円板試片摩擦コンは付着した試片金属でほぼ全体が被覆され(写真2-b), その金属の付着はかなり強固なものである。このため,

写真2 60/40 黄銅でこすられた焼入軸受鋼円板 (荷重 1 kg)

ならびに相手面は金属光沢を呈している(写真3-a)が、接触抵抗が大きくなった場合には、両試片とも不均一ではあるが酸化物で被覆されるのが認められる(写真3-b)。試片面に付着している摩耗粉を電子回折(写真4)した

ところ Cu_2O と ZnO の存在を認めた。さらに電子顕微鏡に付加されたX線マイクロアナライザーによる分析(写真4-b)でも、摩耗粉は試片金属の銅と亜鉛から成ることを示している。

以上のように、本合金ではシユウ動中に摩擦面に酸化物が形成され、これら表面皮膜が金属接触を防げることににより試片の摩耗は減少するが、ある期間たつと摩擦面上の酸化被覆が脱落し、第5図に示されたように再び摩耗が増大する。またしばらくシユウ動を続けると酸化物の形成をみるようになる。こうした酸化物の形成と脱落のくり返しが接触抵抗の観察から明確に示され、これが摩耗曲線にも顕著に現われている。

3-4 4% スズ-銅合金

すべり距離に伴う摩耗量の変化を第6図に示す。いずれの荷重でも、初期における摩耗は比較的小さく、その後急激に摩耗が進行するのは鉛含有 60/40黄銅の場合同様であるが、さらにシユウ動を続けると比摩耗量が小である領域に達する。しかし 70/30 黄銅の場合と異なり、再び摩耗が増大することはない。接触抵抗はこの場合も摩耗量の変化と良い対応をみた。すなわち、初期の状態から、急激に摩耗が進行しているところまでは低い接触抵抗を示し、摩耗が減少しはじめるところでは、抵抗が徐々に増大し、その後低摩耗域では高い接触抵抗を示すようになる。

摩擦係数は接触抵抗が小さいところでは低く、抵抗の大きいところでは高い値が示され、接触電気抵抗と同じく、摩擦面状況の変化を的確に示した(第7図)。

摩擦面の変化はつぎのようである。摩擦初期には試片金属の相手円板試片への付着は少なく比較的細かい金属摩耗粉の発生をみる。このとき接触抵抗ならびに摩擦係数は小さい。しばらくシユウ動を続けると相手面への金属付着が急激に増大するとともに、大きな金属摩耗粉の発生をみて試片が著しく摩耗する。さらに摩擦を継続すると相

写真3 70/30 黄銅試片および焼入軸受鋼円板摩擦面
(荷重 1 kg)

写真4 70/30 黄銅試片上に形成された酸化物とその電子回折像
(a) および特性線スペクトル (b) (すべり距離 800m, 荷重 1 kg)

第6図 4%スズ-銅合金の摩耗曲線と接触抵抗の変化

第7図 4%スズ-銅合金の摩耗量、摩擦係数および接触抵抗の変化 (荷重 0.5kg)

手面に付着した金属の変色が肉眼的にも認められるようになり、同時に接触抵抗の増加、発生摩耗粉の減少が観察される。その後赤カッ色微粉の発生をみて相手円板摩擦コンは付着物が除かれ金属光沢を呈するようになるが、試片摩擦面は赤カッ色の酸化摩耗粉で全体が被覆されてしまう。このような状態における摩耗粉の電子顕微鏡写真とその電子回折像を写真5に掲げた。電子回折像の解析から α -Cu, Cu_2O および α - Fe_2O_3 の存在が認められた。さらに、この回折像を与えた摩耗粉をマイクロアナライザーにより分析したところ、試片を構成する

写真5 4%スズ-銅合金試片上に形成された酸化物とその電子回折像 (すべり距離600m, 荷重 1kg)

第8図 4%スズ-銅合金片上に形成された摩耗粉の特性X線スペクトル。(すべり距離200 および 600m 荷重 1kg)

銅、スズのほかに鉄の存在が明らかにされた(第8図)。しかし酸化物の発生が認められない走行 200m 後の摩耗粉は、試片金属のみから成っていた。本実験では円板試片の摩耗を検討していないが、摩耗粉のなかに鉄が存在することは焼入軸受鋼円板の摩耗を意味するものである。これは試片から生じた Cu_2O あるいは円板から生じた α - Fe_2O_3 が焼入軸受鋼を摩耗させるためであろう⁹⁾。

以上のように本合金では摩擦中に試片ならびに相手金属からの酸化物が形成され、試片摩擦面をおおってこれを保護し、試片摩耗量の減少をみるが、酸化物の付着がない相手面は摩耗をみるようである。

3-5 酸化物の形成と耐摩耗性

70/30 黄銅あるいは4%スズ-銅合金の例でみてきた

ように、シュウ動中における摩擦面の変化、とくに酸化物の形成と摩耗量の間には密接な関係が確かめられた。つまり酸化物が摩擦面に形成されると試片摩耗量は減少することが示された。また、摩擦面における酸化物の形態ならびにシュウ動中における安定性が乾燥摩擦では耐摩耗性を支配する大きな因子の一つと考えられ、本実験ではそれが70/30黄銅と4%スズ-銅合金では異なることが示された。

摩擦中に酸化物が形成されるには表

面がふんい気(酸素)に接する時間が十分あること¹⁰⁾, 熱(摩擦熱)の供給があることの2つが満足されなければならないと考えられる。本実験からは, 酸化物がどのような摩擦条件で形成されるか明らかにされないが, その形成過程を知ることができた。酸化物の生成条件を知るには広範囲なすべり速度および見かけ圧力での実験が必要と考え, 現在検討中である。

4. 結 言

いくつかの金属について摩擦面状況の変化と摩耗量の関係を詳細に観察した結果は次のとおりである。

1) 鉛含有 60/40 黄銅: 接触電気抵抗は 1000m までの摩擦中低い値が保たれた。初期における摩耗量は小であるが, 試片金属が相手面に付着しこれを完全に被覆すると激しい摩耗に移行することが観察された。このときの摩擦係数の平均値は小摩耗時と大差ないが, 激しい凝着を示すピークが認められた。

2) 純鉄: 摩耗量はすべり距離とともにほぼ直線的に増加し, 接触抵抗はやや規則的ではあるが大きな変動を示した。

3) 70/30 黄銅: 摩耗はすべり距離とともに不規則に変化し, 接触抵抗は摩耗の変化に対応した変動を示した。すなわち, 摩耗が多い場合には抵抗が小さく抵抗が大となり, 酸化物の形成を示したとき摩耗は小であった。また本合金では酸化物の形成と脱落のくり返しを伴い摩耗が進行することが観察された。

4) 4% スズ-銅合金: 接触抵抗は摩耗量の変化と良い対応をみた。初期の状態からしばらくして急激に摩耗が進行し低い抵抗が示されるのは 60/40 黄銅に似ているが, その後抵抗の増大に伴い摩耗は減少する。70/30 黄銅と異なり, 形成された酸化皮膜は脱落しにくい。

以上のように酸化物の形成は摩耗の減少と結び付くが, これら摩擦に有効な酸化物がいかなる条件のもとで形成されるか目下検討中である。(1969-5-15 受理)

(昭和 43 年 9 月, 日本金属学会, 仙台大会にて一部発表)

文 献

- 1) R.W. Wilson, Rroc. Phys. Soc., B 68, 625(1955)
- 2) W. Hirst and J. K. Lancaster, Proc. Roy. Soc., A 233, 324 (1954)
- 3) 里吉, 葉山, 日本金属学会誌, 32, 1322 (1968)
- 4) J.K. Lancaster, Proc. Roy. Soc., A 273, 466 (1963)
- 5) N.C. Welsh, Phil. Trans. Roy. Soc., 257, 31 (1965)
- 6) 松永, 表面測定, (1962, 誠文堂)
- 7) 玉井, 工業化学雑誌, 61, 1111 (1958)
- 8) 山崎, 葉山, 日本金属学会誌, 31, 1382 (1967)
- 9) 里吉, 葉山, 日本金属学会誌, 32, 11 (1968)
- 10) E. Rabinowicz, ASLE. Transactions, 10, 400 (1967)

「金属表面技術」 「現場パンフレット」

用合本ファイル完成!

この度会員皆様のご要望に応え, “金属表面技術” と “現場パンフレット” が 1 年分綴込める美しいファイルを作りました。これは紐も糊も使わず, ピンの操作で簡単に綴込める便利なものです。事務の整理上メーカーに直接取扱わせることにいたしましたので, ぜひご利用願います。

体 裁 紙クロス製 金文
字入 12冊綴込

頒 価 「金属表面技術」用 160
「現場パンフレット」用 140 } (送料はメーカー負担)

申 込 先 ミ ネ ル パ 工 業 株 式 会 社

東京都中央区京橋 3~5 (竹河岸ビル 4 階) TEL (563) 0851~3 (振替 東京 90117 番)