

摩耗試験における接触電気抵抗測定の意義

松 永 正 久 ・ 伊 藤 義 典

1. 緒 言

金属と金属、または金属とカーボン・ブラシュとの間の接触電気抵抗の測定は直接に電流を使用する電気機器の性能向上を目標として発達してきた。しかし金属と金属との接触機構が摩擦や摩耗などの現象に対して最も重要な基礎をなすことが判ってきたので、摩擦や摩耗に関連して接触抵抗を測定するところみが広く行われるようになった。ここではこのような問題の基礎と過去において行われた興味ある実験結果の二、三についてのべ、筆者らの得た結果を紹介したいと思う。

まず摩耗試験または摩擦に関連して接触電気抵抗を測定する目的としては、次のような例をあげることができる。

- (1) 接触機構の検討
- (2) 流体潤滑と境界潤滑の区別
- (3) 流体潤滑における最小油膜厚さの推定

以上の項目について、解説をこころみることにする。

2. 真実接触面積と接触電気抵抗

真実接触面積と接触電気抵抗との関係を大成したのは R. Holm であり¹⁾、氏の実験によって接触の基礎と接触電気抵抗との関係は極めて明瞭になった。まず一般に接触を次の二つに分けて考える。

(a) 1つの接触点で接触している場合 交叉円筒や平面と球との接触がこの場合に含まれる。接触面積は荷重が小さいときは Hertz の弾性変形の式で計算され、少し荷重が高まって塑性変形の域に入ると接触面全体はほぼ均一な荷重をうけるようになる。たとえば円筒がその軸を直角にして接触しているときは、荷重を支持する面積 S_0 は円形であり、その半径は

$$a = 1.11 \sqrt[3]{\frac{Pr}{E}} \quad (1)$$

で与えられる。ここに P は荷重、 r は円筒の半径、 E は縦弾性係数である。 E は 2 本の円筒が同じ値を有しているものとしているが、もし金属がちがっても E がそれほどちがわないときには、小さい方の E の値をとれば差支えない。

S_0 の中心から x なる距離にある接触点の圧力 p は

$$p = \frac{1.5P}{\pi a^3} \sqrt{a^2 - x^2} \quad (2)$$

であり、中心においては p は最大であり、

$$p_{max} = \frac{1.5P}{\pi a^2} \quad (3)$$

P が大きくなると最大圧力 p_{max} は増大し、ある一定値 H に達すると p はそれ以上増大せず

$$\pi a^2 = \frac{P}{H} \quad \text{または} \quad S_0 = \frac{P}{H} \quad (4)$$

なる関係にしたがって接触面積が増大してゆく。

(b) 接触点の数が多い場合、平面と平面との接触または同一形状の異形面の接触がこれに属する。もし幾何学的形状が完全であれば、二つの面は完全に接触して真実接触面積と見掛けの接触面積とが同一の二面を作ることには理論上は考えることができる。それゆえに面の精度が上昇すれば、平均圧力 \bar{p} は H より小さくすることは可能である。それゆえに Holm は

$$\bar{p} = 0.5H \sim 0.8H \quad \text{または} \quad P = 0.5HS_0 \sim 0.8HS_0 \quad (5)$$

とした方がよいといており、共ずりした面については $\bar{p} = 0.1H$ 、最も良い面の例としては $\bar{p} = 0.025H$ または $0.02H$ などの値も与えられていることを報告している。すなわち接触点の数が多いときには点で接触するときにくらべて、全体として接触面積が多いのが普通である。

H は値は非常に複雑であるが、大体のオーダーとしてはマイヤー硬度、すなわち圧痕荷重を圧痕の投影面積で除した値と考えると良い。厳密には極めて微小部分の値で、しかも表皮部の値であり、測定温度・荷重・加工硬化・荷重のかかっている時間などの影響をうけて一義的には定めにくいものである。

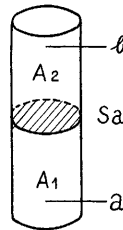
次に接触電気抵抗の意義は次のように考えれば分りよい。第 1 図に示すように二つの部材 A_1, A_2 が S_0 なる平面で接触しているものとする。このときの真実接触面積を S_c とする。電流 I が接触点を通るとき両部材の中の点 a, b の間の電位差を V_{ab} とする。そして ab 間の距離は真実接触点 S_c の大きさにくらべて大きくすることとする。すると a および b を含む等電位面の間の抵抗 R_{ab} は

$$R_{ab} = \frac{V_{ab}}{I} \quad (6)$$

次に同一材料の部材で一体の材料を考え、 a, b 間の抵抗を R_0 とすれば、次の R をもって接触抵抗を定義する。

$$R = R_{ab} - R_0 \quad (7)$$

そうすると一般に接触抵抗は接触部において電流が縮小または拡大されることによる抵抗すなわち constricti-



第 1 図 接触電気抵抗の意義

on resistance (縮流抵抗・集中抵抗・拡散抵抗などの訳があるが、ここでは集中抵抗の訳語を使うことにする。)集中抵抗は A_1, A_2 両部材の中において起るのであるから、それぞれを R_1, R_2 とおく。また接触部に介在物の存在するときには被膜による抵抗 R_f が加わることになる。故に

$$R = R_1 + R_2 + R_f \quad (8)$$

とおくことができる。 R_1 および R_2 はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \rho_1 / 4a \\ R_2 &= \rho_2 / 4a \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

で表わされる。ここに ρ_1, ρ_2 は各部材の比抵抗、 a は接触点の半径である。もし接触点が多数あって、全接触点はその直径 $a_1, a_2, \dots, a_v, \dots$ にくらべて遠い距離に分散しているときには

$$R_{1,2} = \frac{\rho_{1,2}}{4 \sum a_v} \quad (10)$$

で表わされる。

被膜抵抗は介在物の厚さ δ および比抵抗 σ が均一であるとして1個の接触点については

$$R_f = \frac{\sigma \delta}{\pi a^2} \quad (11)$$

接触点が多数あるときには

$$\sum R_f = \sum \frac{\sigma \delta_v}{\pi a_v^2} \quad (12)$$

なる算式によって求めている。

上記のように荷重を支持する接触面積 S_b は接触荷重 P によってきまり、通例の場合接触面積 S_b は導電面積 S_c と等しいと考えてよい。接触面積、集中抵抗、被膜抵抗などに対して前項の関係の成立するときの接触荷重・接触形式と接触電気抵抗との関係について、Archard²⁾ は種々の場合について理論計算を行って

$$R \propto P^{-k} \quad (13)$$

としたときの k の値を第1表のように求めている。ここ

第1表 接触形式と k の値 (Archard)

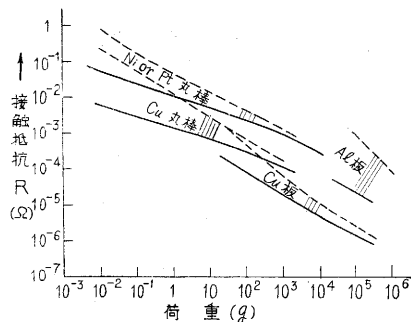
| 接触部変形の形式 | 伝導形式 | k の 値 | |
|----------|-------|---------------|---------------|
| | | 一点接触 | 多点接触 |
| 弾性変形 | 金属間接触 | $\frac{3}{8}$ | $\frac{1}{2}$ |
| | 被膜抵抗 | $\frac{3}{8}$ | $\frac{1}{2}$ |
| | 集中抵抗 | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{2}$ |
| 塑性変形 | 金属間接触 | 1 | 1 |
| | 被膜抵抗 | 1 | 1 |
| | 集中抵抗 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{4}$ |

で一点接触とは、球または交叉円筒における接触の場合のようにただ一点のみで接触する場合、多点接触とは一定の曲率半径を有する突起が微小距離をへだたて次々に接触する場合である。(13)式の比例常数は一点接触の場合には(1)(4)等の式から容易に求めることができるので

らう。

第2図

はHolmの得た興味ある結果であり、清浄な金属(ここに清浄な金属とは物理的な意味で清



第2図 接触荷重と接触抵抗との関係 (Holm)

浄ということであり、真空中で金属を加熱して汚染層を金属もろとも蒸発させ真空中で測定した場合である)同志の接触の場合には荷重の小さいとき、たとえば $P=10g$ 程度のときは全接触は弾性的であると考えられ、 $k=3/8$ であるが荷重を増すと塑性域に入り $k=1/2$ となる、この値は実線で示す通りである。しかし空気が流入して金属上に単分子程度でも酸素吸着層ができると、抵抗値は上昇して点線に示すような値となり、 k も大きくなる。この点線と実線の差は $\sigma \delta / \pi a^2$ に相当するわけである。また Holm はこれらの値は理論値とよくあっていることを示している。この図について興味をひくのは、この実線に示された抵抗値が一定の H を有する材料について、荷重が与えられたときの最低の接触抵抗値であるということである。われわれの取り扱い金属の接触は清浄ならざる金属の接触であるから、ここにあげた抵抗値より通例高くでる。これは多くの場合被膜抵抗によるものであり、接触部には吸着層、酸化被膜、異物、油膜などなんらかの形の被膜が存在するものである。この被膜抵抗がなにによるかはその場合場合によつての σ 値、電圧電流特性、存在しうる介在物などより推定しなければならない。

接触荷重 1 kg のときの抵抗値は $10^{-3} \sim 10^{-4} \Omega$ であるということは、接触抵抗の基礎数値として重要なことである。この値は式(4)(5)(10)から計算される通り、接触面の形状にはあまり関係しないのである。もう一つ注意をひくことは、清浄な金属は空気の流入によって急速に吸着層を作って接触抵抗の増大を起すことである。そしてもし摩耗試験において、これ以下の接触抵抗値が得られたならば、それは高温による H の低下、または局部的の焼付によるものであると思われ、本格的な焼付への前駆状態であろう。

以上のような Holm の業績について接触機構を求めめるために接触電気抵抗を応用したのは、その後多くの研究者によって行われ、筆者の知る範囲でも Bowden・Wilson・曾田・築添・Cocks などによって行われ、金属の接触機構は接触電気抵抗の測定によって次第に明瞭になってきた。

3. 運動部分の接触電気抵抗

上にのべたように清浄な金属同志の接触電気抵抗は低い値であるのにくらべて、実際のしゅう動面間の接触電気抵抗はある程度高い値を与える。この原因としては

(a) 表面にできる化合物(とくに酸化物), 汚染などによる被膜抵抗

(b) 潤滑油膜による被膜抵抗

前者は主として半導体であり、特別な場合を除いてはあまり大きな被膜抵抗を与えないが、後者は多くの場合絶縁体であり、極めてうすい被膜があってもその抵抗は大きくなる。それ故に運動部分の接触電気抵抗の測定として最も測定しやすいものは流体潤滑と油膜の破断との境界条件を求めることである。抵抗値は流体潤滑のときはほとんど無限大に近く、油膜が破断すると mΩ のオーダーになる。摩耗量は流体潤滑のときは極めて少ないが、油膜が破断して境界潤滑状態に入るとやや多くなる。

しかし摩耗量を求めるのに接触電気抵抗を測定することはあまり精度の良い方法とはいえない。常識的に考えても分る通り、極めて僅かの接触点があっても接触抵抗は急激に低下するからである。このように極めて微小な接触点に対しては摩耗はそれほど大きくなる。もう一つ接触抵抗の不利な点は、それが常に変動していることであり、摩耗のようにある一定の時間の積算値を求める方法に接触抵抗の測定を利用することは、これがあまりにも接触状態を忠実に表現しすぎて瞬間値の変動が大きくなり、かえって大局を見失うことががちである。

前者の例を数字で表現してみよう。かりに接触点を 1 個としその半径を a とすれば接触抵抗は (9) および (11) より

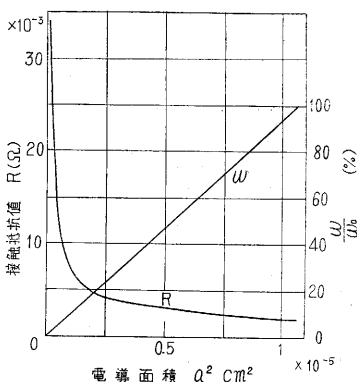
$$R = \frac{\rho}{2a} + \frac{\sigma \delta}{\pi a^2} \quad (14)$$

で表わされる。いま鋼対鋼の接触と考え、 $P=1 \text{ kg}$, $H=30,000 \text{ kg/cm}^2$, $\rho=9 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \text{ cm}$, $\sigma \delta=10^{-8} \text{ } \Omega \text{ cm}^2$, とすれば $a=3.26 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$, $\rho/2a=1.38 \times 10^{-3}$,

$$\frac{\sigma \delta}{\pi a^2} = 3 \times 10^{-4} \text{ } \Omega$$

であるから、
 $\therefore R \approx 1.7 \times 10^{-3} \text{ } \Omega$

流体潤滑部分では摩耗が起らないで境界潤滑層において単位行程当り ω の摩耗が起り、かつ摩耗量は境界潤滑部分の面積に比例するとして摩耗量と接触電



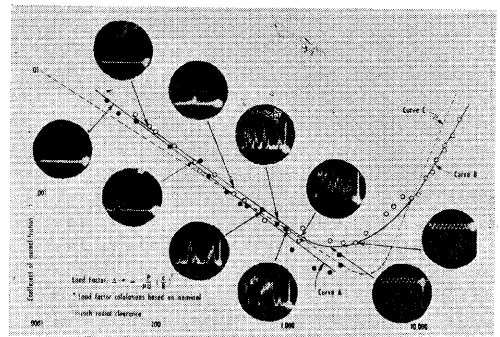
第 3 図 摩耗量と接触電気抵抗との関係

気抵抗との関係を図示したものが第 3 図である。これより分る通り摩耗量すなわち接触面積が $1/10$ にへっても接触抵抗はいまだ mΩ のオーダーであり、 $1/100$ になってようやく $33 \text{ m} \Omega$ である。しかも抵抗値の変動を考慮するとこの程度の抵抗変化でも瞬時値のみ求めていたのでは判別し難いことは必ずしも少なくない。摩耗量と接触電気抵抗との関係を求めるときはこのことは常に念頭においておかなければならない。

次に考慮しなければならないのは測定電圧の影響である。酸化物のような半導体の場合はもちろん、油膜においても測定電圧が 10^6 volt/cm のオーダー以上になると絶縁がやぶれて電導性が生ずる。それ故接触抵抗の測定にはできるだけ低い電圧で測定する必要がある、これが mΩ 程度の抵抗の精密な測定をさらに困難にしている。

4. 流体潤滑と境界潤滑の区別

流体潤滑と境界潤滑を論ずる前に潤滑油の絶縁性を考慮しておかなければならない。油膜の厚さが極めてうすく数 μ になったときの潤滑油の電導性については物理的にはいろいろ厄介な問題があるようであるが²⁾、ここでは潤滑油は一応絶縁体と考える。油膜による流体潤滑が行われている限り接触抵抗は無敵大となるのである。それでは境界潤滑のときはどうなるであろうか。境界潤滑の場合の接触抵抗は一般に低いと考えるのが常識である。この現象は油膜のトンネル効果によるとするよりも、微小な金属間接触(もちろんトンネル効果をおよぼす酸化層や吸着層の存在することもある。)の部分によると考えるべきであろう。これは放射性同位元素を用いた各種の凝着実験よりみて妥当と考えられる。このように考えると境界潤滑状態における 10 のマイナス数乗オームの接触抵抗を有する位置とほぼ無限大の接触抵抗を有する位置との間には過渡状態が存在し、第 4 図に示すように



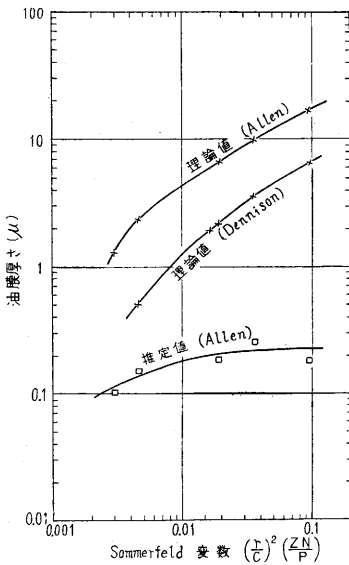
第 4 図 摩擦係数と接触電気抵抗

Sommerfeld 変数と摩擦係数の関係図表において、接触抵抗の値は図のように与えられることが理解できるであろう。Sommerfeld の軸受変数は $(r/c)^2(ZN/P)$ で与えられ、 Z は油の粘度、 N は軸の回転数、 P は軸受にかかる荷重、 r は軸受半径、 c は軸受半径隙間を表わす。

現在まで行われたこの方面の研究としては単筒エンジ

ンのピストンリングとシリンダとの間の抵抗を求めた Courtney-Pratt および Tudor (1946) の結果ならびに Tudor (1947) の研究がある。いずれも傾向的には第4図の関係を満足し、回転数の早いほど、潤滑油粘度の高いほど、温度の低いほど、荷重の低いほど、すり合せ運転時間の長いほど油膜の生成が完全である。

以上のように潤滑機構と接触電気抵抗とは一応結論がでているが、注意しなければならない二、三の点がある。その一つは抵抗値が無限大に近い流体潤滑状態においては、摩耗量は最小であるが、同じ抵抗値が無限大に近いときでも高抵抗半導体または絶縁体の砥粒（アラシ系砥粒またはダイヤモンドが代表的のものである）を使用する湿式ラッピングの場合においては摩耗量は極端に多いことである。このように同じく接触抵抗が無限大に近いのに摩耗量からいえば両極端の場合がありうるのは当然のことながら注意を要するであろう。これが湿式ラッピングの場合のように意識的に高抵抗半導体を介在させた場合には、おそらく誤りはないであろうが、境界潤滑中に異物の介在することによって絶縁されるときは誤りをおかしやすいであろう。



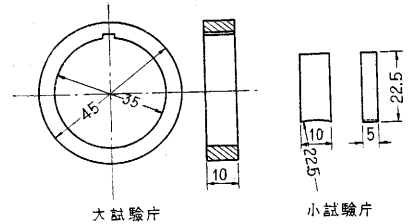
第5図 Sommerfeld 変数と油膜厚さ (Allen)

より計算した油膜厚さは理論値よりはるかに小さく、さらに Holm の提唱している値 10^6 volt/cm を採用すれば油膜厚さはさらに小さい値 (40~100Å) となる。これらの値の信頼性について筆者は詳細な知識をもっていないが、このような研究はすこぶる興味あることのように思われる。

以上の実験は摩耗量と接触電気抵抗との関係を定量的に求めてはいないが、同じ境界潤滑のうちにあっても流体潤滑に近い部分とそうでない部分とでは接触抵抗が非

常にちがうことがある。しかもそれらの試片は初期の仕上条件がちがうだけであるので興味深い。

筆者の一人 (伊藤) は第6図に示したようなリング状試験片 (45 mmφ) の上に幅10mm、厚さ5mm、



第6図 使用した試験片の形状

の試験片を圧着した形式の摩耗試験機を用い長時間摩耗試験を行った。リング材は含 Ti-V 高級パーライト铸铁 (シリンダライナ材と同一)、小試験片は高級パーライト铸铁 (ピストンリング材と同一) である。リング試験片の外周は第1表に示すような加工法および表面粗さに仕上げた。また小試験片はリング試験片外周に十分にすり合わせをほどこした後、エメリーペーパーによって表面粗さ $2\sim 5\mu$ の範囲に仕上げた。摩耗試験はすべて油入りで行っており、使用した潤滑油は特4号ディーゼル油であり、実験にあたっては常に新しい油を加えて油の劣化を防ぐようにしてある。摩擦条件は主として摩擦速度 2.2 m/sec 、摩擦圧力 15 kg/cm^2 、潤滑油温度 $45\pm 2^\circ\text{C}$ で行った。

第2表 試片加工法と仕上面あらさ

| 記号 | 加工法 | 仕上面あらさ μ |
|----|---------|--------------|
| S | 超仕上 | 0.6~0.8 |
| G | グラインダ仕上 | 1.5~2.5 |
| B | バイト仕上 | 8~24 |

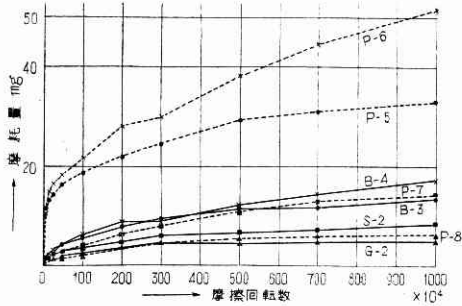
試験は第3表に示す12組について3回に分けて行った。

第3表 試験片の初期あらさ

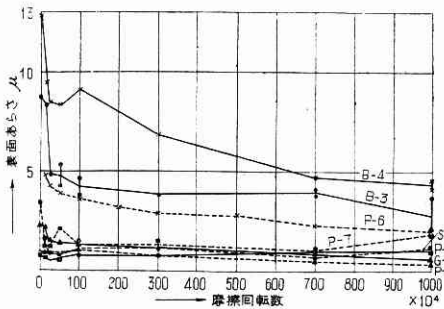
| 試験順序 | リング試験片 | | 小試験片 | |
|------|--------|-------------|------|-------------|
| | 記号 | 初期あらさ μ | 記号 | 初期あらさ μ |
| 第1回 | S-1 | 0.6 | P-1 | 2.1 |
| | G-1 | 2.2 | P-2 | 2.5 |
| | B-1 | 8.6 | P-3 | 2.8 |
| | B-2 | 10.4 | P-4 | 2.1 |
| 第2回 | B-3 | 8.75 | P-5 | 2.2 |
| | B-4 | 13.0 | P-6 | 3.5 |
| | S-2 | 0.8 | P-7 | 2.8 |
| | G-2 | 2.35 | P-8 | 1.4 |
| 第3回 | B-5 | 24.0 | P-9 | 3.5 |
| | S-3 | 0.8 | P-10 | 2.3 |
| | G-3 | 2.5 | P-11 | 2.2 |
| | B-6 | 16.25 | P-12 | 3.5 |

実験結果を摩擦回転数と試験片の摩耗量および表面あ

らきの関係で示すと第 7 図および第 8 図のようになる。



第 7 図 摩耗量曲線 (第 3 回)

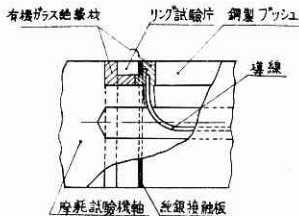


第 8 図 表面あらさの変化 (第 3 回)

図は第 3 回の実験結果を示してあるが、他の場合も傾向的には全く同様である。これよりいえることは、

(i) 概念的には小坂⁹⁾の求めたように初期摩耗・過渡期摩耗・定常摩耗が存在するが、定常摩耗は一定の摩耗量を与えるのではなく 10^7 回転程度も摩耗試験を行っても単位回転数当りの摩耗量はまだ減少しており、厳密な意味の定常状態ではない。この現象は初期表面あらさのあらいときはさらにいちじるしい。

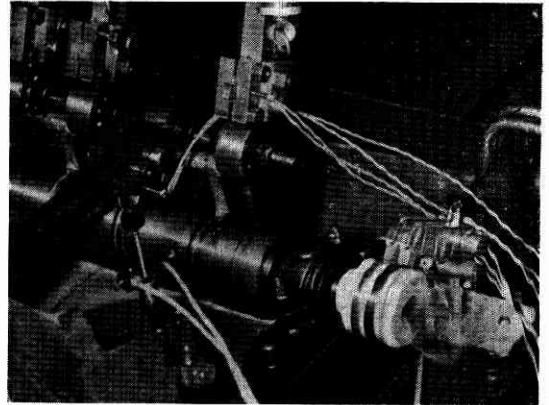
(ii) 初期表面あらさのあらいときは初期摩耗および定常摩耗ともいちじるしく大きく表面あらさも長期にわたってあらく、なかなか平定しない。



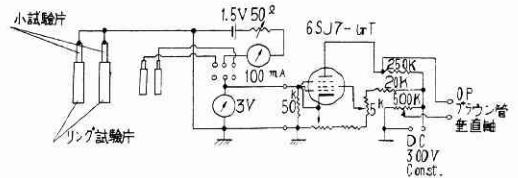
第 9 図 リング試験片の絶縁方法

このような実験において接触電気抵抗を測定するとどのようなことが分るであろうか、装置は第 9 図に示すようにリング状試験片は回転軸に完全に絶縁してとりつけ

りつけ電流は第 10 図に示すような銀製しゅう動輪—銀カーボン刷子によってとりだすようにした。1.5V の電池によって両試験片の摩耗面を通る回路に 100 mA の電流を流し、摩耗の進行にしたがって変化する両試験片間の電圧を測定して摩耗面における接触電気抵抗を求めた。また瞬間的な変化状態を知るためには、第 11 図に示すようなブラウン管直結用直流増幅器を通じてブラウン管



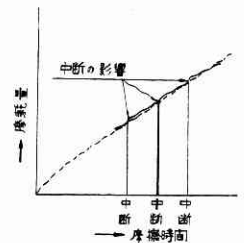
第 10 図 試験片およびしゅう動輪ブラシ系



第 11 図 接触電気抵抗測定回路および増幅器回路

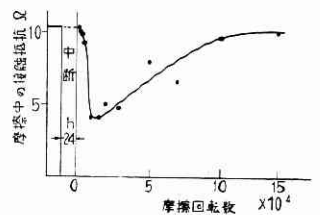
に結び、キャノン製 Photo-Oscilloscope Unit CO-L20-II A I を使用してフィルム上に連続撮影を行った。

まず摩耗試験中断の影響を検討した。すなわち摩耗試験をおこなって摩耗曲線を求めるとき、ある摩擦回転数あるいは摩擦距離・時間ごとに摩耗量を測定するために試験を中断するのであるが、この場合再び試験を再開するときには前の状態と全く変わらない状態で試験を再開することは実際問題として不可能であるため、再開の初期には第 12 図に示すようにわずかではあるが初期摩耗と同様な状態が発生する。この現象を接触電気抵抗によってとらえてみた。そこで別の実験で約 400 万回転の摩耗試験を行い、摩耗曲線の傾向からはほぼ定常状態に達していると思われるグラインダ仕上の試験片を、再び摩耗試験機に装着し、さきの試験と同一条件で接触電気抵抗を測定しながら摩耗試験を行い、抵抗値が一定の値に安定したところで試験機を止め、試験片



第 12 図 摩耗試験中断の影響

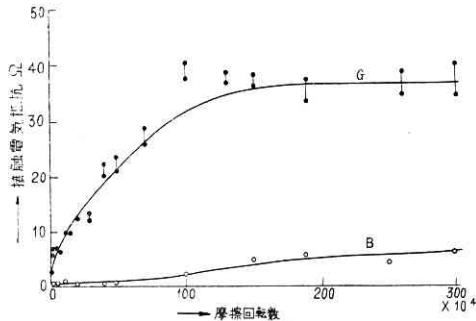
をとりはずしてベンジン、アルコールで十分洗滌脱脂した上乾燥させ、24 時間経過した後、再び試験機に装着し、試験を再開して接触電気抵



第 13 図 接触電気抵抗の回復

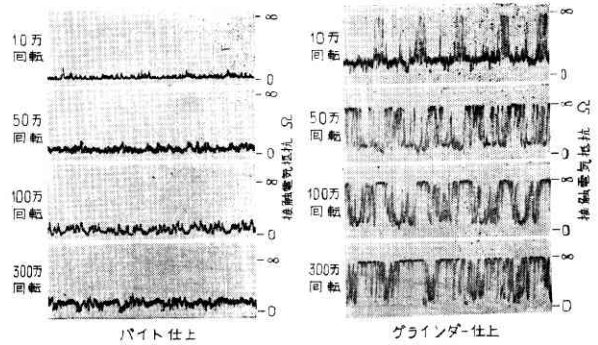
抗の変化を測定した。その結果は第 13 図に示すように、約 10 万回転後にはほぼ中断前の抵抗値にもどった。おそらくこの 10 万回転という数字は摩耗量より測定される回転数よりもはるかに多いであろう。しかし少なくともこの程度の回転数の間までは接触状態はちがっているのである。これは前にのべた接触電気抵抗の測定が非常に鋭敏な例とすることができる。

次に摩耗試験に示される定常摩耗域（厳密には前にのべたように定常ではないのであるが、ここでは習慣にしたがってこの言葉を使うこととする）における摩耗量が粗さによって極端にちがう現象を接触電気抵抗によってとらえてみよう。実験はさきの長時間試験の場合の G-2, B-4 とほぼ同様の表面あらさをもった試験片を使用しておこなった。その結果を第 14 図に示



第 14 図 摩耗回転数と接触電気抵抗との関係

す。このグラフはメータに現われた平均値をとったのであるが、オシログラフに現われた瞬間的な変化状態は第 15 図に示すごとくである。すなわち G 仕上では 50 万回転程度ですでに一部流体潤滑がはじまり、300 万回



第 15 図 接触電気抵抗の変化状態

転程度では流体潤滑状態の生成頻度が増してくる。ところが B-仕上では 300 万回転程度ではいまだに境界潤滑域である。これによって G-仕上における摩耗量のはるかに少ない理由が理解されるであろう。

5. 結言

以上のように摩耗と接触電気抵抗との関係は興味深い点が多いのであるから将来このような研究が多く行われることを期待するものである。(1957.6.7)

文 献

- 1) R. Holm: Electric Contacts, Gebers, Stockholm, 1946.
- 2) J. F. Archard: J. App. Phys. 24 (1953) 981
- 3) 菅 義夫: 機械学会第 56 回講義会教材 (1955) 1.
- 4) Lubrication Engg. 13 (1957) No. 4 表紙
- 5) F. P. Bowden and D. Tabor: Friction and Lubrication of Solid, Oxford, 1950, p. 247
- 6) 松永: ラッピング, 誠文堂新光社 (昭32) 116
- 7) C. M. Allen: Mechanical Wear, ASM, 1950, p. 181.
- 8) 小坂誠一郎: 摩耗変質層の研究 万里閣 (昭20)

正 誤 表 (7 月号)

| 頁 | 段 | 行 | 種別 | 正 | 誤 |
|-----|---|-----|-------|--|-----------------------------------|
| 5 | 左 | | 第 6 図 | V ₃ のカソード負荷の上端から出ている端子の記号 D が抜けている。 | (脱落) |
| 7 | 〃 | 38 | 本 文 | Flory | Elory |
| 8 | 右 | 下11 | 〃 | 種々 | 種類 |
| 8 | 〃 | | 第 1 表 | C ₂ × 10 ⁴ | C ₂ × 10 ⁻¹ |
| 10 | 〃 | 10 | 本 文 | 強さ | 張さ |
| 12 | 左 | | 付 表 | v ₂ = 32. 60cm/s | v ₂ = 32. 60cm/s |
| 表 3 | 右 | 下11 | ニユース | 128mmφ | 123mmφ |
| 〃 | | | 筆者紹介 | 水町長生 助教授 専攻 ガスタービン 内田正次 技官 専攻 ガスタービン 金子和男 雇員 専攻 ガスタービン | (脱落) |

次 号 予 告 (9 月号)

解 説

- 新しい合成繊維……………祖父江 寛
- オートメーションと自動制御……………高橋 安人
- 圧力遠隔測定の一方法……………大井光四郎
浅野 六郎
- 古代の鋳物技術について……………千々岩健児

速 報

- マフラーの吸音に関する実験……………勝田 高司
後藤 滋
寺沢 達二
- 硼酸塩・食塩のイオン交換樹脂……………山辺 武郎

生研ニュース