接触電気抵抗測定法による表面検査

正 会 員 松永 正久* 萩生田善明* 内 藤 敏*

A Study on Surface Layer of Polished Metals by
Electrical Contact Resistance Measurements.

Masahisa MATSUNAGA, Yoshiaki HAGIUDA and Toshi NAITO

One of the authors has reported on the previous paper (Rev. Sci. Instr., 25, 1221, 1954) that contact resistance measurements using a graphite slider can be applied to the study on surface layer of polished metals. In this report, recording of the resistance values is performed. The resistance between the sliding surfaces is measured by determining the potential drop between the slider (bonded carbon rod) and the specimen. Alternating current of 400 cycles per second is applied to the sliding specimens. The potential drop is amplified, and the output is fed into an oscillograph. Advantages of using alternating current are the ease of amplification, the elimination of any thermoelectric effects and the independence of polarity. It is desirable that the voltage drop across the contacts is kept as low as possible in order to eliminate heating effects due to the current. A full scale deflection corresponds to a drop of 5 millivolts.

Electrical contact resistance values between the carbon slider and polished surfaces of quenched steel, of electro-deposited chromium specimen and of aluminium are recorded. Increased resistance is obtained by the highly polished surface of quenched steel. The resistance obtained by dry lapped surface is about 100,000 ohms. The details of the study will be published in English on the "Report of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Vol. 7. No. 5. 1958".

1. 緒 言

実用される金属表面には必ず化合物層が存在し、接触電気抵抗値に影響を及ぼすものであるが、一般に金属と金属とを接触させたときには接触抵抗値はそれほど大きくならず、接触荷重 1kg において $10^{-3}\Omega$ ないし $10^{-4}\Omega$ となる。この理由として筆者の 1 人は以前の報告において、(1)酸化物の破壊、(2)コヒヤー作用、(3)被膜の欠陥、(4)トンネル効果、(5)被膜の電気伝導性の 5 つをあげた。そして前 2 者をさけて測定すると場合によつて被膜抵抗は非常に大きく測定できることをのべた。このような結論は筆者の 1 人(松永)が SQ メータの原理を解析して出したものである¹⁾。(1)の被膜の破壊をさける方法として山崎は黒鉛接触子を用い²⁾、Wilson は金属間の滑動接触においてできるだけ軽荷重を用い³⁾、Cocks はできるだけ剪断力の加わらないようにして準静的に測定を行つて⁴⁾、いずれも大きな被膜抵抗を測定している。筆者は再現性があり測定に便利な方法として山崎の方法を選び、

かつ記録をとるために交流の微小電圧を増幅する方法を採用した。この研究の目的は金属表面の被膜抵抗を測定することにより、表面粗さとはちがつた表面物性値を測定し、実用上の意義を求めようとするものである。ただこのような被膜抵抗はいかなる金属においても求められるとは限らず被膜抵抗を大きく測定するためには 5 つの条件が必要であることが報告してある¹⁾。

2. 装 置

(A) 触針部：触針部には電子顕微鏡カーボンレプリカ用のカーボンを使用した。これは純度の高い炭素であるし使用してみて都合がよかつたからである。直径は約 5 mm、先端を約 70° の円錐に仕上げ、特別な場合を除きできるだけとがらせて使用した。投影器で検査すると先端は約 30 μ 程度の丸味がついている。もちろんこれは初期の形状であり、測定中に摩耗して先端が平な円錐となるがこれはやむをえないものと考える。ただ測定のたびごとに先端の修正を行つた。触針に荷重をかけるには重錘を用い、荷重は特別の場合を除き 100g を採用した。触針は図 1 A に示すように、日本光学製の触針式表

* 東京大学生産技術研究所

得られる。A において抵抗の低い点は故意に表面に作ったキズであり、このキズのところで抵抗は急に低下しているのが判明しよう。この測定値は場所によつてちが

図 4 接触抵抗値の記録 (その 1)

A: 鋼の乾式ラッピング面

B: 鋼の湿式ラッピング面

C: 研削面 D: エメリー紙 5 仕上面

ており、場合によつて数百メガオームの抵抗値の得られることもある。このような測定値のちがいは場所によつて表面状態や酸化被膜の厚さがちがっているためと思われる。表面検査結果は図 6 に示してあり、図 6 の A, B, …等は図 4 及び図 5 の A, B, …等に夫々に対応している。WA # 2,000 による湿式ラッピング面、研削面、エメリー紙 5 による仕上面に対する接触抵抗値を夫々図 4 B, C, D に示した。これらに対する抵抗値の変動は局部的にみればあまり激しくない。図 4 よりこれらの値は夫々 200 ~ 400 Ω , 100 ~ 200 Ω , 3 ~ 5 Ω と読みとることができる。

ただバフ仕上面は図 5 E に示すように割合変化の激しい記録を示しており、場所による変動も亦大きい。これはその仕上面の構成より考えて当然であろう。すなわちバフ仕上面では局部的にみれば乾式ラッピング面に匹敵する平坦さを有し、酸化被膜の発達している部分もあり、湿式ラッピング面に近似したあらさを持つている部分もあるのである。これは同図上に示したクロームメッキ面のバフ仕上面についても同様であるが、この場合は

図 5 接触抵抗値の記録 (その 2)

E: 焼入鋼バフ仕上面

F: クロームメッキ面のバフ仕上面

G: アルミニウムのバフ仕上面

H, H': アルミニウムの電解研摩面

一般に抵抗値は鋼のバフ仕上面に比べて数桁高い。

(2) 被膜厚さと比抵抗との積, Holm⁶⁾ の考えによれば

$$A = \frac{P}{H} \quad (1)$$

(ここに A は真実接触面積, P は接触部に加わる荷重, H はマイヤー硬度) によつて真実接触面積を求めることができるので、接触部において被膜厚さが均一であると仮定すれば被膜厚さ (t) と比抵抗 (ρ) との積は次のように求めることができる。

$$\rho t = R \frac{P}{H} \quad (2)$$

この実験においては $H = 32.4 \text{ kg/mm}^2$ であり, $P = 100 \text{ g}$ であるので $A = 3.1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ が与えられ

$$\rho t = 3.1 \times 10^{-5} R$$

となる。 $R = 100,000 \Omega$ とし, ρ は $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ についての実測値 $10^8 \Omega \text{ cm}$ とすれば⁶⁾, $t = 3.1 \times 10^{-8} \text{ cm} = 3.1 \text{ \AA}$ で

図 6 触針法による表面検査結果

- A: 乾式ラッピング面及び故意につけたキズ
 B: 湿式ラッピング面 C: 研削面
 D: エメジャー紙う仕上面 E: バフ仕上面 (以上焼入鋼)
 F: クロームメッキ面のバフ仕上面
 G: アルミニウムのバフ仕上面

あり、いまだトンネル効果の及ぶ範囲であるので仕上面に生ずる酸化物はもつと比抵抗の低いものであることが推定される。

(3) アルミニウムのバフ仕上面: アルミニウムは激しくバフ仕上をおこなうと砥粒が表皮下に埋込まれて大きな抵抗を与える例があることを報告した⁷⁾。図5 Gはその抵抗値を示している。この例においても抵抗の変動は激しい。

(4) アルミニウムの電解研磨面: 筆者の得た条件においてはアルミニウムの電解研磨面は酸化被膜で蔽われており、先端の球形の黒鉛接触子で静止状態で測定すると荷重を 100g 程度まで上昇しても $10k\Omega$ 以上の抵抗を

与える例があることを示した⁸⁾。しかし現在のように先端の尖った接触子で運動中に測定するところのような被膜は機械的な破壊を起す。それ故にこの場合に限り、先端の丸味半径を 3 mm とし、4g の荷重で測定した。この場合の接触抵抗は場所によつてちがつており、数メガオームより数オームに及び図5 H に示したように破断と絶縁の繰返しの場合も H' のように略々一定値を示す場合もある。しかしこのような場合においても荷重を更に小さくすると大きな抵抗値を与えることが多いので、抵抗の低下は酸化物の破壊によるものと思われ、酸化被膜の比抵抗は非常に高いものと想像される。

4. 結 言

以上のように黒鉛又は炭素を接触子として金属表面との接触電気抵抗の変動を図示させることにより次の結論をえた。

(1) この抵抗値は鋼表面の仕上程度が良好なほど大きく、乾式ラッピング面では屢々 $100k\Omega$ をこえる。これは以前に得た結論と同一である⁷⁾。

(2) 鋼、クロームメッキ面等のバフ仕上面は平坦な部分と欠陥部とが共存するため、抵抗値の変動が激しい。

(3) アルミニウムの電解研磨面は酸化物に蔽われていると思われるがその被膜は非常に破壊しやすい。

種々御討論を賜つた当所沢井教授並びに山崎精機研究所に謝意を表す。(1958, 1月9日受付)

文 献

- 1) 筆者: 精密機械, **21** (1955) 299.
- 2) 山崎正八郎: 精密機械, **20** (1954) 130.
- 3) R. Wilson: Proc. Phys. Soc. **B. 68** (1955) 625.
- 4) M. Cocks: Proc. Phys. Soc. **B. 67** (1954) 538.
- 5) R. Holm: Electric Contacts, Gebers, Stockholm (1946).
- 6) Boer and Verwey: Proc. Phys. Soc. **49** (1937) 59.
- 7) 筆者: 金属表面技術, **7** (1956) 41.
- 8) 筆者: 精機学会春期講演会予稿 (昭30) 31.