接點皮膜の接觸抵抗について

高 木 通 泰* 三 戸 曉*

Michiyasu Takagi and Satoru Mito: On the Contact Resistance of the Film on Electric Contacts.

In this paper some results obtained from the experiments on the contact resistance of the films formed by discharge on Ag, W, Cu and other several alloy contacts are given. The contact resistance was measured closely point by point, with a Ag needle mounted on a special measuring apparatus.

The results obtained are as follows:

- (1) On the anode surface, some cathode material is transferred and the distribution of contact resistance shows a complicated structure.
- (2) On the cathode surface a new heat resisting surface is formed by discharge, and, consequently, the contact resistance of the cathode is very low.
- (3) On heating, the contact resistance of Ag and Cd against the Ag needle decreases, while that of W, Cu and others increases.
- (4) In the case of alloy contacts, these films are composed of oxides of the alloying elements.

(Received October 28, 1950)

I. 緒 言

一般に接觸抵抗の問題は電氣接點においてかなり重要な問題である。これに関しては從來主として實際的立場から、相當時間作動後の接點について測定したものが多く、放電により接點面に生ずる各酸化皮膜について直接測定したものは未だないように思われる。本研究は著者の一人の報告⁽¹⁾にもあるような放電による接點面上の特殊な模様の酸化皮膜について微動装置により各場處毎の接觸抵抗を測定し以つて接觸抵抗並びに接點現象の解明の一助たらしめんとしたものである。

II. 實驗方法並びに實驗裝置

實驗の方法としては各試料板に放電により皮膜を生成せしめ、これに Ag 針を接觸せしめて微小電流を流しこのときの電壓をミリボルトメーターで読み、これから皮膜の各場處毎の抵抗を求めた。試料は約 $10 \times 10 \times 2$ mm 寸法の板でこの機械研磨後の清淨面について他極を針として放電を行わせた。放電の條件は最も明瞭な皮膜が得られる範圍として D-C 35 V 2A を選んだ。Fig. 1 は實驗裝置を

Fig. 1 Measuring Apparatus.

示す。圖に見るように試料台及び Ag 針はネジの部分により微動せしめられ、試料面の任意の場處について測定することが出来る。また接觸壓力は同じくパネ

板により加減されこれは 500 mg とした。測定は大體 50μ 毎に行つたが、測定後直ちに檢鏡して Ag 針による接觸點の痕跡を調べこれから測定點の皮膜における各場處を判定し、次にかゝるものを少時種々なる溫度に熱處理してその初回の測定點に近い點につき前同様の測定を行つてその變化の模様を調べた。Ag 針による接觸面積は概ね $7 \sim 8 \mu$ 徑の圓であつた。なお本測定においては W の酸化皮膜には明らかに整流性が認められたが、Ag, Cu 等については認められなかつたので整流性の問題は別に考慮することにして實驗を行つた。

III. 實驗結果

實驗はまず Ag, W, Cu について兩極同種の場合及び異種の場合について行い、次に陽極を Ag、陰極を數種金屬及び合金とした場合のそれぞれの影響につき調べた。

1. Ag 接 點

(a) Ag 陽極對 Ag 陰極 一般に Ag の場合に限らず單一放電によつて陽極面に生ずる酸化皮膜は顯微鏡で見ると縞狀の干涉模様を呈するが、なお仔細に觀察するとこの中には不連續的に色の變化する部分があり、必ずしも單純ではない。接觸抵抗を測定した場合もこの色の不連續的に變る附近において著しく抵抗が變化するもので Fig. 2 はその一例を示す。圖は直徑約 4 mm の Ag 針を陰極として放電させた場合の Ag 陽極面上の皮膜の各場處における抵抗測定値であり、縦軸は接觸抵抗値、横軸は皮膜の場處を示す。圖に示すように中央附近において抵抗値の極大及び極小が見られ、中央部附近の抵抗が最も高い。Ag の酸化物は比較的低温において分解することが知られているが⁽²⁾かゝるものを 200° に 1 分加熱すると、皮膜の周邊

- (2) J. W. Mellor, A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chem., Vol. III (1928), 371.

* 東芝マツダ研究所
(1) 三戸, 本號, 151.

部附近においては酸化が更に進行するためか抵抗が増加してくるが中央附近では酸化物の分解が始まるためか抵抗は

Fig. 2 Contact Resistance of the Ag Oxide Film Formed on a Ag Anode Surface.

低下し、更に 300° に 1 分加熱するといつれの部分も全く低下する。顕微鏡的にもこの温度では皮膜の消失が認め

Fig. 3 Contact Resistance of the Oxide Film Formed on a Ag Anode Surface by a W Cathode Point.

られる。この際興味あることはかゝるものを更に 400° に 1 分加熱すると、消失した皮膜の外側にこれから約 0.1 mm 隔て、茶色の環状の部分の漸く現われるのが観察され、しかもこの際この茶色の環状の部分と皮膜のあつた部分は金属光澤を呈して更に温度を上げてこの部分のみは余り酸化、分解せず金属光澤を保持することである。すなわちこれは後にも述べるように放電によつて実際に皮膜が出来ている範囲以外に更に廣範圍の面が熱的乃至化学的の何らかの影響を受けて変化していることを示すもので、前述の皮膜の中央附近の複雑性と共に放電現象の複雑性を

示すものである。

(b) Ag 陽極對 W 陰極 この場合は Ag 陰極の場合に比して、中央部附近の抵抗は著しく高く、しかも 300° 以上の加熱に際してもこの部分の皮膜のみは消失せず抵抗は増加する。W の酸化皮膜は後述するように加熱によつて抵抗を増加するものであり、これらのことから中央部附近の皮膜は W の酸化皮膜であることが知られる。Fig. 3 はかゝる一例を示すものである。なおこの際は皮膜の中央部が一部熔融して穴状となり Ag 面が現われているためその部分の抵抗値は低くなつている。

(c) Ag 陽極對 Cu 陰極 Ag 陽極の皮膜上には Cu の酸化物が附着生成し抵抗値は高い。この場合は W 陰極の場合に比し Cu の酸化物が比較的廣範圍の面に形成される傾向あり抵抗は比較的廣範圍の面で一樣に高く、かつ 300° 以上の加熱に際しても皮膜の消失する部分は少い。600° 附近の加熱によつて外周附近の皮膜は稍々淡黒色を呈して来る。Fig. 4 は直径 0.3 mm の Cu 針を陰極として放電さ

Fig. 4 Contact Resistance of the Oxide Film Formed on a Ag Anode Surface by a Cu Cathode Point.

せた場合の一例である。

以上 (a)(b)(c) において述べたことからわかるように陽極面においては陰極物質の酸化膜が附着形成されているものであり、陽極面の皮膜内における不連続的現象はこの陰極物質酸化膜の附着形成に基くものである。

(d) Ag 陰極對 Ag W, Cu 陽極 陰極放電面は陽極放電面と著しく皮膜の模様異なるが、接觸抵抗値においても著しい相異が認められる。すなわち中央の皮膜の飛散した附近においては陽極物質の移轉附着も極めて僅かで殆ど抵抗は認められず、たゞ放電の外周部に残存する皮膜の部分に若干の抵抗が認められるだけであり、これは陽極物質の種類に無関係である。

2. W 接 點

(a) W の常溫酸化皮膜 W は常溫において著しく酸化

するものでこれは屢々接点の障碍となるものである。

Fig. 5 は機械研磨面及び電解研磨面について研磨後の接

Fig. 5 Time Dependence of the Contact Resistance of a W Surface.

触抵抗値の時間的變化を測定したもので、圖に示すように外観的には鏡面を呈する状態において既にかなり酸化し、かつ機械研磨面は電解研磨面に比しその酸化速度は 4, 5 倍程度高い。

(b) W 陽極対 W 陰極 前項において述べたように W は常温で著しく酸化するために測定は研磨後迅速に行う必要があつた。Fig. 6 は兩極とも W の場合であり、圖に見

Fig. 6 Contact Resistance of the Oxide Film Formed on a W Anode Surface.

るように放電による酸化皮膜の抵抗は加熱によつて更に増加し、しかも加熱に際しては皮膜の存在しない部分にも抵抗値の一つの變化が現われて来るもので、これは Ag 接点の項において述べたような皮膜は存在しないが放電によるなんらかの影響を受けて變化している部分であり、圖に見るように耐酸化性の面となつてゐる。これらのことは次の Ag, Cu 陰極の場合により明瞭に認められる。

(c) W 陽極対 Ag 陰極 Fig. 7 は機械研磨後 17 時間経過し常温において約 50 Ω 程度の接触抵抗値を示す W 面について Ag を陰極として放電させた場合の例で、圖に見るように皮膜の外周附近だけ抵抗が高くその内側及び外側の皮膜の生成してない所は抵抗は低い。これは内側の部分は Ag の酸化膜が形成されてゐるためであるが、皮膜の外側の部分は放電前に存在していた酸化層が放電に際して飛散し研磨直後の新しい面を生じてゐるためであり、この新

しく生じた面は前述のように加熱に際しても抵抗は増加しにくい面である。340° 1 分間の加熱では中央部は Ag の

Fig. 7 Contact Resistance of the Oxide Film Formed on a W Anode Surface by a Ag Cathode Point.

酸化物が分解するため抵抗は低下し 0.1 Ω 程度になるが W 皮膜の存在する外周部附近は却つて抵抗は増加し 100 Ω 以上となる。

(d) W 陽極対 Cu 陰極 Fig. 8 は前同様、研磨後 17 時間経過した面について Cu 陰極で放電させた場合の例で

Fig. 8 Contact Resistance of the Oxide Film Formed on a W Anode Surface by a Cu Cathode Point.

ある。圖に見るように皮膜部以外の構造も明瞭に示されている。A は皮膜部、B は前述のような酸化層の消失して新しい面が出来てゐる部分、C は Ag 接点において述べたような加熱に際して新しく茶色の縞が現われる部分ですなわち酸化し易くなつてゐる部分である。

(e) W 陰極対 W, Ag, Cu 陽極 Ag 接点の場合に述べたように、陰極面の抵抗は陽極の種類に如何に拘わらず常に著しく低い。Fig. 9 は研磨後 17 時間経過の面について放電させて得られた W 陰極面についての測定結果である。圖に示すように陰極面においては放電によつて廣い範圍に亘つて酸化層、研磨層が飛散消失して耐酸化性の新しい面が生ずるものである

3. Cu 接 点

Ag 接点, W 接点の場合と全く同様の傾向を示し, すなわち陽極皮膜の中央には陰極物質が附着してそれぞれの

Fig. 9 Contact Resistance of a W Cathode Surface Discharged by a W Anode Point.

抵抗値を示し, 陰極面においては耐酸化性の面が現われて抵抗値は極めて低い.

4. 合金接点

以上 1, 2, 3, において述べた諸結果から判るように, 陽極放電面には陰極物質が移轉附着しているものであるが, 陰極に合金を使用した場合各合金元素の影響は如何に現われるかを次に述べる.

(a) Ag-W 合金陰極

Fig. 10 は Ag 80, W 20 の Ag-W 焼結合金を陰極とした場合の Ag 陽極上の皮膜の抵抗値を示すもので, 圖に示すようにその皮膜には Ag, W の影響が共に現われその

Fig. 10 Contact Resistance of the Oxide Film Formed on a Ag Anode by an Elconite (Ag 80%, W 20%) Cathode Point.

抵抗値は W だけの場合より低く Ag だけの場合よりは高い値を示す. すなわちこの皮膜には Ag 及び W の酸化物が共存していると考えられる. 然るにかゝるものを加熱すると Ag の影響が現われて抵抗は何れの部分も低下して来る.

(b) Ag-Cu 合金陰極

共晶合金の場合の一例として Ag-Cu 合金陰極の例を Fig. 11 に示す. 圖に示すように Ag に Cu が入ると抵抗

は共晶附近迄は Ag だけの場合と殆ど変わらないがこれ以上になると次第に Cu の影響が現われて抵抗は高くなる.

Fig. 11 Contact Resistance of Various Oxide Films Formed on a Ag Anode Surface by Ag-Cu Alloy Cathode Points.

加熱に際しても共晶附近迄のものは Ag の酸化物の分解の影響を受けて抵抗は低下するが, これ以上になると Cu の酸化物の影響を受けて次第に増加して来る. この中特に興味あるのは Ag 50, Cu 50 の組成のものでこの際は圖に見るように中央に Ag の酸化物が集り外周部に Cu の酸化物が集まっているように見られることで, これは陽極に移轉附着する際に Cu が Ag に比し遠方迄飛散するためかあるいは移轉附着以前の段階即ち陰極面における酸化皮膜の形成に際して Cu の方が Ag よりも酸化し易いために皮膜の外周部には主として Cu の酸化皮膜のみが形成される傾向にあるためであろう. かゝるものを加熱すると何れの部分も抵抗は低下して来る. Cu の酸化物は元來加熱によつて抵抗は増加すべきものである故この際も外周部の抵抗は却つて増加すべきであるに拘わらず, 前項の Ag-W 酸化物の混相におけると同様 Ag 酸化物の分解に伴いこの部分の抵抗値は低下して来るものである. なおこの際は接觸抵抗測定時の接觸面積は他の場合より稍々小で約 $(2.5)^2 \pi \mu^2$ であつた.

(c) その他 前述の Ag-Cu 共晶合金との比較の意味で固溶合金として Cu-Zn 合金について行つたが餘り明瞭な結果は得られなかつた. また微量元素の影響を見るために C 量 0.1 及び 0.7% の鋼について行つた結果では両者とも全く同じでその Ag 陽極面上に形成される皮膜の抵抗は放電を後で 175 Ω 程度, 1320° 1 分加熱で約 470 Ω であつた.

次に陽極面における皮膜には既述のように陰極物質が大部分附着形成されてるため, 陽極物質それ自身の皮膜の構造については餘り明瞭でないため陽極を合金とした場合の影響については特に調べなかつた. 然し著者の一人の報告⁽¹⁾にもあるように多相合金の陽極皮膜においては各相毎に皮膜が形成される傾向にあり, 従つて例えば前述の Ag-Cu 合金等においても, 陽極皮膜の外周附近においては比較的酸化され易い Cu の影響が主として現われることと思

われる。

5. その他若干の金属接點

その他 Ag を陽極として Ni, Al, Pb, Sn, Zn, Cd 及び Os 10% の Pt-Os 合金等を陰極としてそれらの皮膜について調べたが Al, Pb, Sn, Zn 等はその皮膜の接觸抵抗値は著しく高くこれらは接點として問題にならぬように思われた。Ni の場合は常温の接觸抵抗値は約 40Ω 320° 1 分加熱では 75Ω 程度であつた。また Cd の場合は Ag の場合同様加熱によりその接觸抵抗値は低下し 320° 1 分加熱で 60Ω より約 6Ω 迄低下した。かくの如く加熱によりその接觸抵抗値の低下する現象は實際接點として甚だ有利なことであると思われる。Os 合金では加熱前においてかゝる皮膜は大部分消失していた。

IV. 結 言

以上放電による陽陰兩極面上の種々なる皮膜についてその接觸抵抗を測定した結果を述べたのであるが、これらを簡単に總括すると次の如くである。

(1) 陽極放電面上に生ずる皮膜は陽極物質の酸化物の他

陰極物質の酸化物から成る。また陽極の放電面上においては普通には皮膜の存在が認められない比較的遠方の範圍においても、放電による酸化皮膜の形成されていることが加熱後の測定から確かめられた。

(2) 陰極面には放電により新しい耐酸化性の面が生じ、従つて陰極面の接觸抵抗は極めて低い。

(3) 放電による酸化皮膜には Ag, Cd の皮膜のように加熱により分解してその接觸抵抗の低下するものと、W, Cu その他のように加熱により酸化が進み接觸抵抗の増加するものがある。またこの両者が共存するような場合、一方の影響を強く受けて例えば本來加熱によつて抵抗の増加すべきものも却つて低下して來る現象がある。

(4) 合金接點の皮膜にはそれぞれの合金元素の合成効果が現われる。

(5) W は常温において極めて酸化し易いが電解研磨面は機械研磨面に比し著しく耐酸化性である。

この他なお接點皮膜の問題としてはその生成の機構や詳細な構造の問題、また吸着等の化學的性質、整流性の問題など解決すべき點が多い。これらは今後に残された問題である。