低速開離時における Ag コンタクトのアーキ 継続時間と接触抵抗に関する実験

正員 石田 広 幸 (北海道職訓短大)

正員 杉 本 等 (東 北 大)

正員 曾 根 秀 昭 (東 北 大)

正員 高 木 相 (東 北 大)

An Experiment on the Relationship between Arc Duration and Resistance in Ag Contacts at Low Opening Speed

Hiroyuki Ishida, Member (Hokkaido Polytechnic College), Hitoshi Sugimoto, Member,
Hideaki Sone, Member, Tasuku Takagi, Member (Tohoku University)

A quantitative investigation on the relationship between arc duration and resistance in Ag contact in air were made by using a contact driving machine to open the contact at low speed (below 1 mm/s), and measured data were analyzed statistically. The two types of arc (metallic phase arc: short arc, and metallic phase plus gaseous phase arc: long arc) appeared at low opening speed and the type of an arcing has the correlation with the contact resistance. The contact resistance was high after generating long arc, while low after short arc. Characteristics of arc duration was that both of long arc and short arc appeared in period 1, and only short arc appeared concentratedly in period 2, and these states repeated reciprocally. A clear correlation existed between variations of arc duration and resistance.

キーワード：コンタクト，アーキ継続時間，接触抵抗，開離速度，Ag，実験

1. ま え が き

コンタクトの高信頼性化のため，コンタクト現象と信頼性の関係を解明する必要がある^{(1)~(3)}。コンタクトの開閉時のアーキ放電は，電極材料の消耗・転移を発生させて，信頼性を低下させる大きな原因である^{(4)~(6)}。アーキ継続時間は，消耗・転移量や接触抵抗の変化に関連することが知られているので，重要な測定量の一つである。

アーキ継続時間と消耗・転移量の関係は詳細に明らかになっている。Ag, Cu および Pd コンタクトの消耗量は，動作条件一定のときアーキ継続時間の積算値にほぼ比例する⁽⁶⁾。特に，アーキ継続時間をメタリック相アーキとガス相アーキ⁽⁷⁾⁽⁸⁾に分けると，消耗・転移量はメタリック相継続時間と強い相関があり，ガス

相継続時間はほとんど相関がない⁽⁹⁾。

接触抵抗との関係も，メタリック相アーキとガス相アーキで異なることが観測されている。Ag コンタクトのアーキ継続時間と次回閉成後の接触抵抗を測定すると，アーキ放電がメタリック相のみで終了したときの接触抵抗は低く，ガス相移行があったときには高くなる傾向がある⁽¹⁰⁾。本論文では，この相関関係をさらに明確にすることを目的とする。実験では，この関係が観測される条件範囲に関する実験データを補充するために，開離速度を従来と大きく異なる低速度に設定する。また，相関性を定量的に分析するため，得られた実験データについて統計的分析を行う。

2. 実験方法

〈2・1〉 方 針 アーキと接触抵抗の関連に関

する従来の著者らの測定は、開離速度が14mm/sで行われている⁽⁹⁾。両者の相関関係をより広範囲の条件でみるために、開離速度を従来と大きく異なる低速度に設定して実験する。その方法として、低速でコンタクトを開く装置を製作して実験することとした。

〈2・2〉 装 置 装置は、図1に示すようにアーク発生部・計測制御部・データ格納部から構成されている。

コンタクト開閉装置は、図2に示すように移動ステージ装置（パルスステージ）を用いて構成した。パルスステージは、0.5 μm /パルスの移動が可能であり、約1mm/s以下の低速移動が可能である。

接触抵抗は、コンタクト閉成時に通電しているときのコンタクト対の間の電圧降下を通電電流で割った値として求めた。

〈2・3〉 条 件 今回の実験では実験条件などを次のように設定した。

電 圧：直流 48 V

電 流：4 A

開離速度：1 mm/s

接 触 力：45 g $\pm$ 3 g（平均値 $\pm$ 平均値からのばらつきの絶対値の最大値）

図1 装置の構成

Fig.1. Construction of the instrument.

図2 コンタクト開閉装置

Fig.2. Contact driving machine.

負 荷：抵抗負荷（セメント抵抗）

周囲雰囲気：研究室の大気

動作周期：約1分

動作回数：300回

開離時のみ通電（閉成時は電圧不印加）

図3に示すようにコンタクトの取付けは1mm ϕ 丸棒軸対向として、電極長を3.5mmとした。電極の処理は、対向面を平面状に研磨後アルコールで脱脂したのち、水道水で洗浄し自然乾燥させた。

以上の条件で、アーク継続時間と接触抵抗をともに毎回測定した。

3. 実験結果

アーク継続時間と接触抵抗を同時並列的に測定した結果の例を図4に示す。図中の黒点がアーク発生動作ごとの測定値の打点であり、アーク継続時間(a)と接

図3 軸対向コンタクト

Fig.3. Axisymmetrical bar contact.

Ag, 48V, 4A, 1mm/s, L=3.5mm, F=45 g $\pm$ 3 g

図4 アーク継続時間(a)と接触抵抗(b)の測定値

Fig.4. Measured data of arc duration (a) and contact resistance (b).

触抵抗(b)を上下に並べて示してある。この実験結果によると、同じ実験条件でコンタクトを動作しているにもかかわらず、アーク継続時間が約1秒のアーク(長いアーク)が発生する場合と、アーク継続時間が約数十ミリ秒以下のアーク(短いアーク)が発生する場合の二種類のアークが存在する。

アーク継続時間の変化の大きな特徴は、動作回数(約)60~90回ならびに250~300回において短いアークが集中して発生していることである。より詳細にみると、動作回数に対する測定値の変化の傾向は、(1)長いアークと短いアークがほぼ同じくらい発生し、このときの接触抵抗がばらつく動作区間を経て、(2)短いアークの発生頻度が高くなり、その接触抵抗が低い値になる動作区間に移行する。更に動作が進むと再び前述の(1)の傾向を経てから(2)の傾向に移行し、これを繰返す。すなわち、アーク継続時間と接触抵抗は何らかの関係を保ちながら繰返し変化する。従来の実験でもAgのアーク継続時間が動作約百回から数百回の間隔で長くなる傾向が観測されている⁽¹¹⁾。本実験では、長いアークと短いアークが同程度に混在して発生する条件を設定して実験したので、変化がより顕著に現れたと考える。

4. 結果の考察

本章では、アーク継続時間と接触抵抗の相関性について調べ、結果の考察を行う。

〈4・1〉 各動作ごとの相関性 本節では、アーク発生ごとのアーク継続時間と接触抵抗の間の相関性を調べる。図4のデータのうち初回から256個のデータについての相互相関関数を図5に示す。同図で縦軸は相関係数、横軸は回数である。相関関数のピークは回

図5 アーク継続時間と接触抵抗の相互相関関数
Fig. 5. Cross-correlation function between arc duration and contact resistance.

数1に存在して、そのときの相関係数は0.74になる。すなわち、アーク継続時間が直後の接触抵抗値に影響するという結果である。

Agコンタクトは長いアーク(ガス相へ移行するアーク)と短いアーク(メタリック相のみのアーク)の二つの分布をもつことがあり、図4の結果はこれらが混在している。このことを考慮して両者の関係を調べるために、アーク継続時間と接触抵抗を動作回数ごとに打点した結果を図6に示す。縦軸のアーク継続時間

図6 アーク継続時間とアーク発生直後の接触抵抗の関係

Fig. 6. Relationship between arc duration and contact resistance just after arc.

Ag, 48V, 4A, 1mm/s, L=3.5mm, F=45g $\pm$ 3g

(L: 電極長, F: 接触力)

黒点: 15回動作の平均値

図7 アーク継続時間と接触抵抗の平均値の変化
Fig. 7. Variation of mean value of arc duration and contact resistance.

と横軸のアーク発生直後の接触抵抗は各々最大値で正規化してある。長いアーク発生直後の接触抵抗は高く、一方、短いアーク発生直後の接触抵抗は低い。

〈4・2〉 平均値の変化の相関性 図4のデータを基にして、アーク発生動作の15回ごとに平均値を計算し、アーク継続時間と接触抵抗の区間平均値の変化がどのように進行するかを調べた。図7に両者の平均値を動作区間に対して打点して示す。このデータ間の相関係数は0.95である。両者の変化には強い相関がある。

5. む す び

低速度(1 mm/s以下)でコンタクトを開く開閉装置を新たに試作し、大気中で銀(Ag)コンタクトのアーク継続時間と接触抵抗を測定した。低速条件下でも長いアーク発生直後の接触抵抗は高く、一方、短いアーク発生直後の接触抵抗は低くなる傾向があり、両者の相関性を実験的検討によって確認した。

(平成4年7月24日受付, 同5年1月13日再受付)

文 献

- (1) 高木 相: 「マイクロエレクトロニクスと電気接点」, 電学誌, **107**, 41 (昭62-1)
- (2) 真野國夫: 「機構部品の接触信頼性試験に関する諸問題」, 昭45通信学会全大, S2-4
- (3) T. Takagi: "Relationship between contact operating conditions and contact phenomena in Ag and Pd breaking contacts", Proc. of the Thirty-Sixth IEEE Holm Conference on Electrical Contacts and The Fifteenth International Conference on Electric Contacts, Montreal, p.1 (1990)
- (4) R. Holm: Electric Contacts, 4th. Edition (1967) Springer-Verlag
- (5) 真野國夫: 接触部品の信頼性, (昭51) 総合電子出版
- (6) T. Takagi & H. Inoue: "Distribution of arc duration and material wear due to arc for Ag, Cu, and Pd contacts", IEEE Trans. Components, Hybrids & Manuf. Technol., CHMT-2, No. 1, 20 (1979)
- (7) E. W. Gray: "Some Spectroscopic observations of the two regions (metallic vapor and gaseous) in break arcs" IEEE Trans. Plasma Science, PS-1, No. 1, 30 (1979)
- (8) 高橋・吉田・宮地: 「コンタクト開離時アークのメタリック相からガス相への移行境界」, 信学論C, **J66-C**, 813 (昭58-11)
- (9) H. Sone & T. Takagi: "Role of the metallic arc discharge on arc erosion in Ag contacts", Proc. of the 35th. IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, p. 79 (1989)
- (10) 曾根・高木: 「Agコンタクト開離時におけるメタリック相アークの電極表面状態への影響に関する測定」, 信学論C, **J71-C**, 1368 (昭63-10)
- (11) 井上・小原・高木: 「コンタクトアーク継続時間の開離速度依存性の実験」, 信学技報, EMCJ 79-65 (昭55)

石 田 広 幸 (正員)

昭和29年11月24日生。55年室蘭工業大学電気卒業。61年東北大学大学院博士後期課程修了。同年4月北海道職業訓練短期大学校, 平成5年4月東北科学技術短期大学助教授。工学博士。主として、電気接点に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。

杉 本 等 (正員)

平成3年東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻修士課程修了。現在、同博士課程在学中。電気接点に関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。

曾 根 秀 昭 (正員)

昭和55年東北大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学工学部助手, 平成4年同電気通信研究所助教授。工学博士。電子応用計測, 電気接点, 計算機ネットワークなどの分野の研究に従事。56年度電子通信学会学術奨励賞受賞。計測自動制御学会, 日本音響学会, 情報処理学会, IEEE 会員。

高 木 相 (正員)

昭和7年3月31日生。32年3月九州工業大学電気卒業。35年3月東北大学大学院修了。同年4月同大学工学部助手, 38年同助教授, 51年同教授。工学博士。電気接点, 環境電磁工学, 通信方式などの研究に従事。