

電気接点材料の表面粗さが接触抵抗特性および耐凝着性に与える影響

Effect of the surface roughness of electrical contact materials to the contact resistance properties and adhesion resistance

東芝（正）*森 義憲 東芝（非）加納 明 東芝インフラシステムズ（非）吉田 剛

東芝インフラシステムズ（非）和田 雄太

Yoshinori Mori*, Akira Kano*, Takeshi Yoshida**, Yuta Wada**

*Toshiba Corporation, **Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation

1. 緒言

開閉器（スイッチ）は電力回路および電力機器の電路を開閉（ON/OFF）する器具である．その中でも真空開閉器は接触部が真空容器内に収められた構造となっており，この接触部で 1 対の接点材料を開離・接触させることで電路の開閉が行われる．その際，接点材料は真空環境下で繰り返し接触するため材料表面では凝着による摩耗や損傷が避けられない．さらに，凝着の発生およびその凝着粒子の成長によって接点材料間の接触状態が変化すると接触抵抗値が増大し，電力機器の不具合に繋がる要因となる．しかしながら，真空環境下での接点材料の接触抵抗特性に与える表面性状の影響については明らかになっていない．そこで本研究では，真空容器内で開閉動作する接点材料において切削加工後の表面粗さが電氣的な接触抵抗特性および耐凝着性に与える影響を調べた．

2. 接触抵抗値の測定方法

接点材料間の接触抵抗値を測定する試験機の構成を Fig. 1 に示す．接点材料は真空容器内に設置した 2 対の通電軸（固定軸，駆動軸）の先端に取り付けられ，駆動軸を試験機下部の機構で往復動させて電路の開閉動作を行った．接点材料は，焼結溶浸法で形成した Ag-WC 系の焼結電気接点材料を用いた．接点材料の形状と切削加工後の表面粗さの目標値を Table 1 に示す．なお，開閉動作中は通電せず所定の開閉回数毎に通電軸に電流を印加して通電軸間の電圧差から接触抵抗値を算出した．その他の測定条件は Table 2 に示す通り．

Table 1 Properties of the contact materials

Diameter of materials	φ20 mm (Curvature R200mm)
Surface roughness Ra	0.2 μm, 1.6 μm, 6.3 μm, 25 μm
Hardness (HRC)	25-32
Young's modulus	74 GPa

Table 2 Experimental condition

Number of switching	300 cycles
Vacuum pressure	$10^{-4} \sim 10^{-5}$ Pa
Contact pressure	169 MPa
Impressed current	10 A

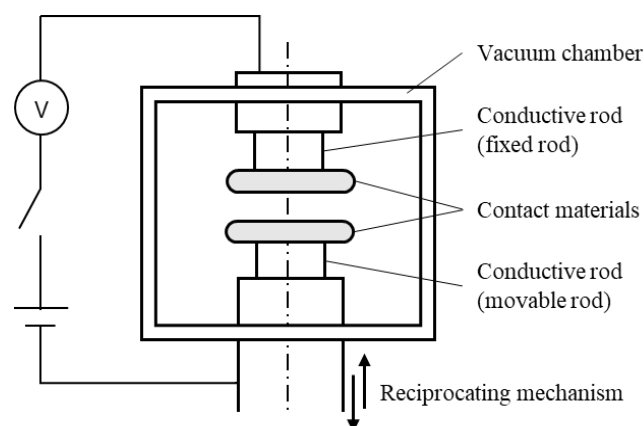


Fig. 1 Schematic diagram of the testing machine

3. 結果と考察

3.1 表面粗さと接触抵抗値の関係

測定した接触抵抗値の推移を Fig. 2 に示す．図の横軸は開閉回数，縦軸は初期の接触抵抗値からの増加割合を表している．Ra が 0.2 μm および 1.6 μm の接点材料は開閉回数と共にほぼ線形的に接触抵抗値が増加しており，300 回開閉後は初期値の 2 倍以上の接触抵抗値を示した．Ra が 6.3 μm の接点材料は 100 回まで増加傾向は見られないが，300 回開閉後には初期値の約 2 倍の接触抵抗値を示した．一方，Ra が 25 μm の接点材料は接触抵抗値の増加傾向は見られず，300 回開閉後も初期値とほぼ同じ値を示した．

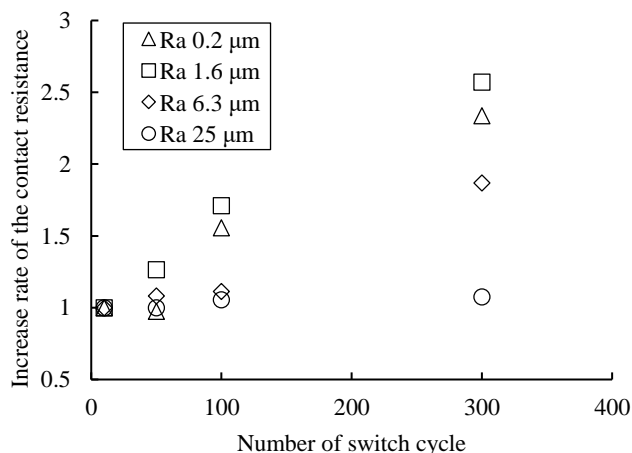


Fig. 2 Measurement results of the contact resistance

3.2 接点材料表面の凝着物と接触抵抗値の関係

300 回開閉動作によって接触抵抗値が増加した接点材料の表面には、Fig. 3 に示すような幅数 mm、高さ 30 μm 程度の凝着物と同程度の穴が形成されていた。この凝着物の体積と 300 回開閉動作後の接触抵抗値の増加割合との関係を Fig. 4 に示す。接触抵抗値の増加率は凝着物の体積の増加に伴って大きくなる傾向を示しており、Ra が 25 μm の接点材料は、凝着物の体積が他の条件に比べて極めて小さく、接触抵抗値の増加も小さかった。

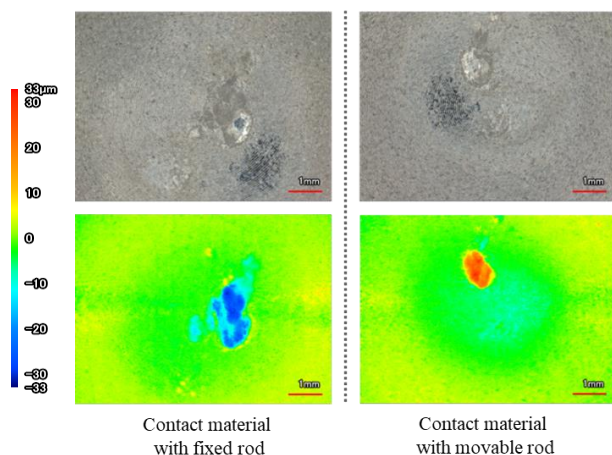


Fig. 3 Adhesion particles and holes on the electrical contact materials (Ra 1.6 μm)

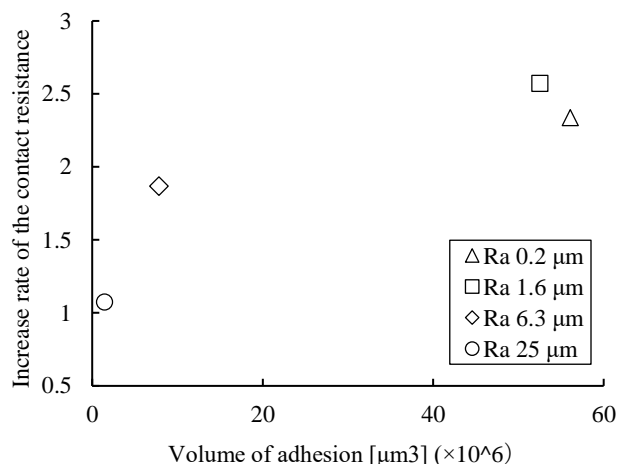


Fig. 4 Relationship between volume of adhesion and increase rate of contact resistance

3.3 表面形状を模擬した接触解析

表面粗さの形状が耐凝着性に与える影響を調べるため接点表面での固体接触を模擬した解析を行った。解析には汎用ソフト Abaqus/Standard を用いた。解析条件を Table 3 に示す。解析では Ra が 1.6 μm 、Ra 6.3 μm 、Ra 25 μm の表面粗さ形状をそれぞれ相似な三角形状（弾塑性体）として簡易的にモデル化し、上面に R200 mm の剛体を押付けた時に作用する応力と変形量を計算した。解析結果を Fig. 5 に示す。表面粗さ形状の頂点は剛体との接触によって塑性変形しており、この領域でミーゼス応力が最大値を示した。各条件で表面粗さ形状の頂点と谷におけるミーゼス応力の値を Fig. 6 に示す。今回解析した 3 条件は頂点での応力値は同程度であったのに対して、谷での値は Ra が 25 μm の表面形状をモデル化した条件で最も低く、Ra が 1.6 μm の表面形状をモデル化した条件のおよそ 1/20 であることが分かった。真空環境下で繰り返し接触する接点材料においては、表面粗さを大きくしたことで表面での応力分布が変化し、凝着の発生および進行の抑制に寄与したと考えられる。

Table 3 Analysis conditions	
Analysis model	Plane strain model (2D)
Elastic modulus	150 GPa
Poisson's ratio	0.3
Yield stress	600 MPa
Tangent modulus	1.5 GPa

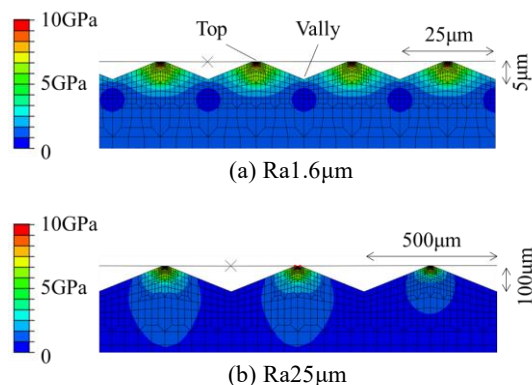


Fig. 5 Results of contact analysis (Mises stress distribution)

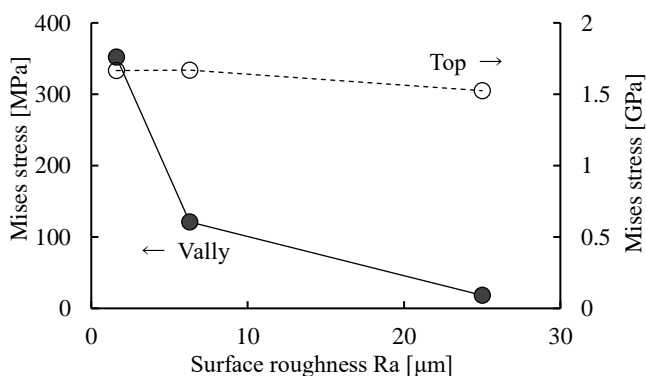


Fig. 6 Relationship between surface roughness and mises stress at Top and Vally of models

4. 結言

接点材料の表面粗さが真空環境下での接触抵抗特性および耐凝着性に与える影響を調べた。その結果、接点材料の接触面を適度な表面粗さに仕上げることで耐凝着性が向上し、真空開閉器の接触抵抗値が長期的に安定することが可能であることを明らかにした。

文献

- 1) 玉井：電気接触現象とその表面・界面（接触機構デバイスの基礎と応用）コロナ社 (2019).
- 2) 田中：BURWELL-STRANG による軽・重摩耗遷移の概念に基づく遷移臨界圧力の統計的解析，トライボロジスト Vol.45 No.11 (2000)