

Influence of Apparent Contact Area on Wear Properties of Current Collecting Materials

Chikara YAMASHITA, Railway Technical Research Institute, 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo

Influences of apparent contact area on wear properties of current collecting materials under current condition was investigated. As a result, the contact voltage between the contact wire and the contact strip was independent of the apparent contact area throughout all load condition. In addition, wear properties such as friction coefficient and specific wear rate were independent of the apparent contact area under the mechanical wear condition and the melting condition of contact strip. On the other hand, the author confirmed the influence of the apparent contact area on wear properties only under the condition that the contact temperature reached the melting point of the contact wire.

Keywords : apparent contact area, real contact area, contact voltage, contact temperature, wear mode, contact wire, contact strip

1. はじめに

電気鉄道では、トロリ線とパンタグラフのすり板を接触させることで、走行時に必要な電力を車両に供給している。車両走行に伴う通電しゅう動によって集電系材料であるトロリ線とすり板は摩耗するため、通電下における摩耗メカニズムの解明を目的とした研究が進められている。筆者はこれまでに、通電下の摩耗形態を大きく3つに分類し、接点温度が集電材料の融点に達する条件で摩耗形態が遷移することを明らかにした¹⁾。

本稿では、摩耗特性に影響を及ぼす要因のひとつと考えられている接触面積に着目し、接点温度および摩耗特性に対する見かけ接触面積の影響について報告する。

2. 摩耗試験条件

本研究で使用する摩耗試験機は直動型摩耗試験機である(図1)¹⁾。この試験機は接触力の変動が少ないため摩耗形態の混在を抑えることができ、接触電圧の測定も精緻に実施できるという利点がある。接触電圧 V_c を測定することで、接点における最高温度 T_{max} を次式を用いて推定することができる。

$$T_{max} = \left(\frac{V_c^2}{4L} + T_0^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 L はローレンツ数(=2.45×10⁻⁸ [(V/K)²]), T_0 は室温(=300[K])である。

摩耗試験に供した硬銅トロリ線と鉄系焼結合金すり板の物性値を表1に示す。接触面積の寸法を3種類とし、3段階の見かけ接触面積において通電摩耗試験を実施した。なお、試験片を摩耗試験機に取り付けた時点では片当たりが発生するため、すり板の全接触面に摩耗痕が確認できるまで無通電条件でなじみ運転を実施した。

摩耗試験条件を表2に示す。通電する電流は100Aとし、荷重を2~80Nの範囲で変化させて試験を実施した。なお、しゅう動速度は0.2m/sと低速であるが、これはしゅう動中の荷重変動を小さくするためと、(1)式による接点温度推定を定量的に評価するには摩擦熱の影響を排除する必要があるためである。

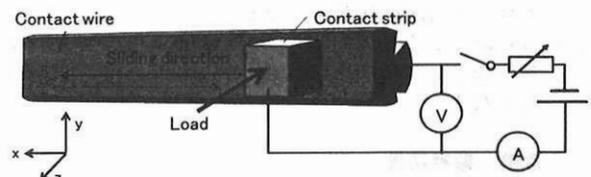


Fig.1 Linear wear test apparatus.

Table 1 Properties of specimen.

	Contact wire	Contact strip
Material	Hard-drawn copper	Iron-based sintered alloy
Component	Cu(99.9%)	Fe(78.6%), Cr(16.5%), S(0.9%)
Melting point (K)	1,342	1,646
Hardness (N/mm ²)	895	960
Resistivity (μΩm)	1.77×10 ⁻²	0.40
Contact area	10mm×10mm (100mm ²) 10mm×5mm (50mm ²) 3mm×3mm (9mm ²)	

Table 2 Wear test conditions.

Load (N)	2~80
Sliding speed (m/s)	0.2
Voltage (V)	DC 100
Current (A)	DC100
Sliding distance (mm)	250
Number of sliding cycle	3,000

3. 試験結果

3.1 接触電圧

3段階の見かけ接触面積において、100Aを通電した場合の荷重と接触電圧の関係を図2に示す。ここに示す接触電圧は、実測結果に基づく平均値と標準偏差σから平均値+3σとして求めた。また、同図右軸には(1)式で推定した接点温度を併記す。この図より、接触電圧は見かけ接触面積の影響を受けていないことがわかる。これは接触抵抗が見かけの接触面積に影響されなことを意味するが、接触抵抗が真実接触面積に関係すると考えれば説明

できる。接触抵抗は接点半径 a に反比例し、接点半径は真実接触面積 A_r から算出される。真実接触面積は実際にトリ線とすり板の接触境界における接点の総面積であり、塑性変形が発生する条件では一般に次式であらわされる²⁾。

$$A_r = \pi a^2 = \zeta \frac{W}{H} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 W は荷重[N]、 H は硬さ[N/mm²]、 ζ は係数(0.3-1)である。この式より、真実接触面積や接点半径は見かけの接触面積ではなく荷重に依存するため、接触抵抗は見かけの接触面積ではなく荷重に依存すると説明できる。

図 2 にはトリ線の融点 1,342K とすり板の融点 1,646K を破線で示している、見かけ接触面積が変化しても接点温度が変化しなければ、摩耗形態が遷移する条件は以下になると予測できる¹⁾。

- (1) 接点温度がトリ線およびすり板の融点未満の場合：摩擦係数や比摩耗量は荷重に依存せず約 0.7 となる機械的摩耗形態になる。
- (2) 接点温度がトリ線融点以上、すり板の融点未満の場合：摩擦係数とトリ線比摩耗量が極大値を示すトリ線溶融摩耗形態になる。
- (3) 接点温度がすり板の融点以上の場合：すり板比摩耗量が増加し、摩擦係数が減少するすり板溶融摩耗形態になる。

3.2 摩擦・摩耗特性

3段階の見かけ接触面積において、100A を通電した場合の荷重と摩擦係数の関係を図 3、トリ線およびすり板の比摩耗量を図 4 に示す。これらの図と図 2 の接点温度条件より、以下のことがわかる。

- (1) 機械的摩耗形態の条件では、摩擦係数や比摩耗量に対する見かけの接触面積の影響はなかった。
- (2) トリ線溶融摩耗形態の条件では、見かけ接触面積 100mm² において摩擦係数およびトリ線比摩耗量は極大値を示したものの、50mm² 以下の接触面積では極大値を示さなかった。50mm² 以下の接触面積で実施したトリ線摩耗面を観察すると、トリ線表面は溶融しておらず、塑性流動が確認できた。
- (3) すり板溶融摩耗形態の条件では、摩擦係数や比摩耗量に対する見かけの接触面積の影響はなかった。また、この条件におけるすり板摩耗面を観察すると、すり板表面が溶融していることから、接点温度がすり板の融点に達していることが確認できた。すなわち、図 2 の接点温度の推定値は妥当といえる。

摩擦・摩耗特性に対する見かけの接触面積の影響は、トリ線溶融摩耗形態の条件でのみ確認できた。接点温度はトリ線の融点近傍に達しているはずであるが、見かけの接触面積が小さい場合はトリ線表面に明確な溶融痕は確認できず、トリ線比摩耗量も増加しなかった。このことは、トリ線の摩耗が電気的要因で増加する原因が、接点温度がトリ線融点に達することのみでなく、他の要因も影響していることを示唆している。

3. おわりに

本稿では、集電系材料の摩擦・摩耗特性に及ぼす見かけ接触面積の影響を調査した。この結果、接触電圧は見かけ接触面積に依存せず、トリ線表面が溶融する摩耗形態でのみ見かけの接触面積が影響を及ぼすことを確認した。

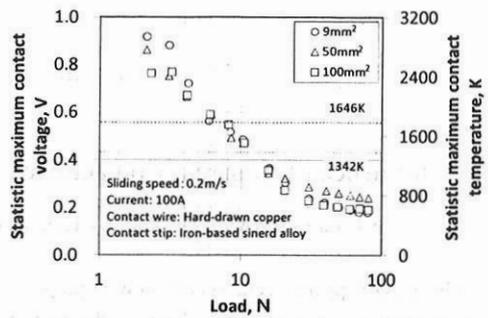


Fig. 2 Relationship between load and statistic maximum contact voltage and statistic maximum contact temperature.

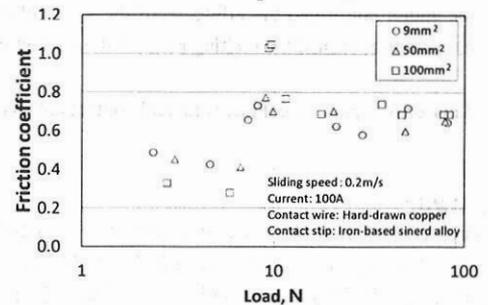
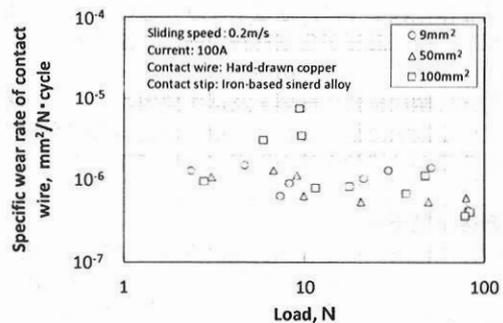
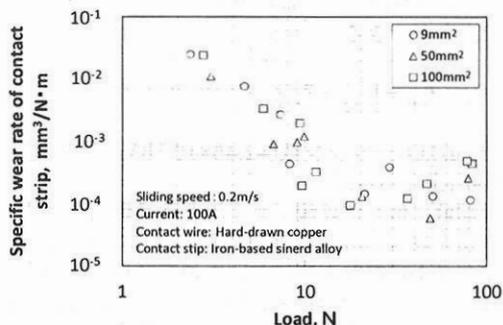


Fig. 3 Relationship between load and friction coefficient.



(a) Contact wire



(b) Contact strip

Fig. 4 Relationship between load and specific wear rate of current collecting materials.

参考文献

- 1) 山下主税：集電系材料の摩耗形態と遷移条件，J-Rail2011 講演論文集，pp493-496，2011。
- 2) Terutaka TAMAI: Current Dependence of Contact Resistance, THE TRANSACTIONS THE IECE OF JAPAN, VOL.E 68, NO.4, PP241-242, 1985.