電氣車主電動機用炭素刷子の缺損について

國鐵技術研究所 赤 沼 哲 郎

On the Failure of Carbon Brush for the Main Motor of an Electric Car

By Tetsuro Akanuma

Railway Technical Research Institute, Japanese National Railways

Statistical investigations of carbon brushes in use for the main motor of an electric car have shown that rejections on account of failure amount to 30% of the total number in service on electric cars, electric locomotives or on the private as well as the Government Railways.

As a result of a close observation of the failure mechanism, it has been disclosed that cracks inherent in pitch coke, base material of brush, are responsible for such failure leading to scaling; pitch coke has a layer structure easily coming to failure under a negligible pressure or developing cracks, if not failure. Then, the form of pitch coke powder, form factor and frictional coefficient has been determined and it has been found the larger form factor m is accompanied by the higher frictional coefficient so that failure percentage of such powder rises correspondingly.

It follows from this that a brush block made of coke powder with smaller form factor will have a layer structure to such small extent that scaling will not occur.

1. 緒 言

電氣車主電動機用炭素刷子缺損防止について研究するには二つの方針がある。刷子を缺損せしめる衝撃力或は振動状態等を調査してこれを軽減せしめる方法もその一つであり、又現在の状態を止むを得ざる現象としてかような衝撃や振動に耐え得る材質である刷子を試作研究することも一つの方法であろう。述者は刷子に繰返し振動を與えた場合缺損を起す迄の材質的變化の状態を研究し、缺損し難い材質について結論を得たので、この線に添つて試作研究を行つて見た以下その大要について述べる。

2. 刷子の缺損

昭和 24 年度の全國鐵電車主電動機用炭素刷子の缺損状態を調べて見ると、先に業研第 8 卷第 9 號に報告した如く全數の 33% は缺損で廢棄しており、また昭和 27 年度の電氣機關車電動機用刷子の東鐵管内に於ける調査も第 1 表の如く前者と略同じく 35% 位の割合となつている。更らに昭

第 1 表

正常磨耗		側面磨耗		缺 損		材質不良		計
個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1700	33.6	1454	28.8	1745	34.5	155	3.2	5054

和 24, 25, 26 年度の全私鐵刷子の使用状態は第 2 表の如くにして、全體としては 10% 程度の缺損であるがこの統計より 40~50 km 以上の速度で走っている私鐵のみを拾上げて見るに矢張り 30% 前後の割合で缺損を起している事が知られる。之れを詳細に調査して見るに前報告¹⁾で説明した如く走行杆 5,000 杆の點が缺損の最高となり、その後は急激に減じその状態は先きの報告¹⁾第 1 圖に示す如く對數分布の型となつている。

ところが炭素材は鑄物とか或は粉末冶金で作られた材質と同じく塑性變形を起さない事は周知の事實である、故に金屬に起る普通の疲勞現象と解

第 2 表

	年度	車 輛 數	刷子使用數	1 萬軒當り 刷子使用數	百分率使用數 %		
					磨 耗	缺 損	荒 損
電 車	24	3,818	118,923	4,586	79,70	9,95	10,35
	25	3,929	132,928	3,983	80,00	7,42	12,58
	26	4,096	130,262	3,987	81,58	8,24	10,18
機 關 車	24	206	6,505	8,325	75,48	12,96	11,56
	25	216	2,438	8,816	78,69	10,28	11,08
	26	231	9,497	22,409	82,94	9,22	7,84
軌 道 車	24	4,697	57,784	6,342	86,76	8,86	4,56
	25	3,832	50,782	5,076	81,89	3,69	14,42
	26	5,016	56,822	5,802	83,90	2,89	13,21

することが出来ず疲労現象に良く類似した金属のスベリ現象に近いものと想像される。

炭素刷子が缺損を起す前に割目を發生することは肉眼でも觀察出来るが、この割目について考へて見るに炭素材は細い粒子と更らに粒子と粒子とを結合させるために結合劑と稱するタール、ピッチで練り合せ後爐で焼成し、結合劑を炭化せしめて固結したものである故に何かの理由で割目が發生したとすれば主體の炭素粒子が割れるか炭素粒子と結合劑との結合が離れるか又は結合劑が割れるかの3つの現象のどれかか或はこの3つの組合せかに外ならぬのである。しかるに炭素材に力を加えてたわみを與へ乍ら200倍位の顯微鏡で觀察すれば炭素粉末の粒子に先づ第一に龜裂の入る事が明らかに判明する。又結合劑の炭化したものは原料であるピッチコークスの粒子よりも強度あり更らにこのコークス粒子と結合劑の炭化したものとは機械的にも化學的にも分離しにくいと言ふ事も、他の實驗で十分證明が出来るし又先覺者もそのやうに教へられている。ここにおいて初めて缺損の主因をなすと思われるピッチコークスの性狀についてもつとつき進んだ研究が必要となる。

3. ピッチコークスの性狀

a) ピッチコークスの細くなり難さ*

始め一定寸法のピッチコークスをとりボットミルに入れ一定のボールを入れて定つた時間で運轉すればピッチコークスは粉碎されて炭素の粒子となる、その粒度の分布状態を調べて、再びこれを

ボットミルに入れて粉碎する、かくの如き操作を繰返すことにより粒度分布が時間と共に變化す

第 1 圖

る、この状態を圖示すれば第1圖の如き粒度の積分分布が得られる。

今計算やその他の處置を便ならしめるため粒度の公稱寸法を次式により表示粒度に換算すると第3表の数値となる。

この粒度を横軸として前結果を普通の分布圖に書き直して見ると第2圖の如くなり、325 mesh 即ち表示粒度 x の値が4.25までは篩分け出来るが、それ以下の細い粉では吸濕性と吸着性により普通の方法では篩分けが出来兼ねる、故に之れを一括してZ群の粉とし、後に處理することにした、ところでこの粉碎を時間と共に進めて行くと

第 3 表

公稱寸法単位 mm

篩銘記目種	16	32	42	60	80	100	115	150	170	200	250	325
公稱寸法S	1 000	0 500	0 354	0 250	0 177	0 149	0 125	0 105	0 0884	0 0744	0 0625	0 0526
表示粒度X	0	1 00	1 50	2 00	2 50	2 75	3 00	3 25	3 50	3 75	4 00	4 25

$$x = -\log S / \log Z \quad (1)$$

第 2 圖

その分布状態が正規分布の形を採るが y の値が最低であるべき x の値、即ち 4.25 の點が時間と共に 0 の方に移動し、3.5~3.75 あたりが最低値を示し 4.00~4.25 の方が返つて高い値を示すようになる。ここに於て始めて、この分布には粉碎の途中にある第 1 分布の山と粉碎が終り單に蓄積が主となつている第 2 分布の山とが含んだ分布状態であることが想像される。そこで第 2 分布の山も正規分布と考へ（第 1 假定）しかも第 2 分布の分布中心點が移動しない（第 2 假定）ものとすれば

$$y = \frac{A_1}{\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x-x_{01}}{B_1}\right)^2} + \frac{A_2}{\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x-x_{02}}{B_2}\right)^2} \quad (2)$$

として表すことが出来る 但し

Y_1 =第 1 山の面積 Y_2 =第 2 山の面積 $Y_1+Y_2=1$

y =正規分布における山の任意の高さ

$\frac{A_1}{\sqrt{\pi}}$ =第 1 分布の山の最高點の高さ

$\frac{A_2}{\sqrt{\pi}}$ =第 2 分布の山の最高點の高さ

B_1 =第 1 分布の山の幅

B_2 =第 2 分布の山の幅

但し B_1 及 B_2 は $y=e^{-1}$ ($y_{\max}=0.14 y_{\max}$ の

點の x と x_{01} 又は x と x_{02} の差)

x_{01} =第 1 分布の山の最高値の位置

x_{02} =第 2 分布の山の最高値の位置

x =たて軸 y を與へる横軸の値即粒度

とする。かくして實驗値を上式に入れて未知の

値、例へば Y_1 , x_{01} , Y_2 , x_{02} 等を求めれば

Y_1 については $\dots Y_1 = e^{-\alpha t}$ = (第 1 山の面積)

x_{01} については $\dots x_{01} = -3.32 + (x_{02} + 3.32)$

$(1 - e^{-\beta t})$ = (第 1 山の平均粒度) となり又全體

の平均粒度 $x_0 = x_{01} Y_1 + x_{02} Y_2$ $x_0 = -3.32 +$

$(x_{02} + 3.32) (1 - e^{-\gamma t})$

となる 但し α, β, γ は時間係數 t は時間

従つて t を一定とすれば α の大なる程粉末にな

り易く、 β の大なる程微粉化される速度が早く、

γ の大なる程平均粒度が細くなり易いことを意味

する。實驗の結果により之等 α, β, γ の値を計算

すれば第 4 表の如くなる。

第 4 表

コークス名	α	β	γ
G L	0.13	0.36	0.50
パレンバノ	0.16	0.49	0.68
登 別	0.10	0.44	0.54
八 幡	0.09	0.35	0.43
河 西	0.06	0.32	0.38

但し初めのコークスの寸法は径 10 mm のものを

選んだ、故にこれを (1) 式にて換算すれば -3.32

となる。又第 1 第 2 の假定は沈降法を用いて實驗

すれば容易にこれを證明し得る。實驗の結果によ

れば第 1 假定は正確な正規分布と言えないが、對

數分布の形をもつた分布で正規分布と見ても差支

へないものと思われ又第 2 假定はその x_{02} が時間

と共に少しつつ右方、即ち細い方に移動するが、第1山の x_{01} に比べれば 1/10 位の速度であり殆んど問題にならない。

以上の実験より最も割れ難い原料は河西製ピッチコックスと言ふ事になる。

b) ピッチコックスの形とその摩擦係数

前試験で発生した各粒度の粉を 50~250 倍の顕微鏡で調査するとその形は大體において同轉隨圓體の形になつてゐる今その長徑を l とし短徑を r とし形状係数 $m = \frac{l}{r}$ として計算すれば G L 製は最も大きくて 1.7~1.8 となり河西製は最も小さく 1.2~1.3 位の値を示す。又これを第3圖

第 3 圖

の如き土壤實驗等に用いられる摩擦係数測定装置により摩擦係数を測定し、實驗式をたてて見るに

$$\mu_1 = 0.291 + 0.22 m D^{0.82} \dots \dots \dots (3)$$

となる但し $\mu_1 \dots \dots$ 粉と粉との摩擦係数

$m \dots \dots$ 粉の形状係数

$D \dots \dots$ 粉の平均直径

この式は $2 > m > 1$ にして粉が平均径 1 mm より 0.05 mm 迄の同一直径と見做される粉と粉との摩擦係数にあてはまる實驗式であるが、若し本實驗装置に引張用棒の代りに鐵板を用い鐵と炭素粉末との摩擦係数を測定するに

$$\mu_2 = 0.301 + 0.22 m D^{0.82} \dots \dots \dots (3')$$

と係数のみが變化する實驗式が成立つ、又粉の種類による變化もあるやうだが μ には餘り大きい變化も見受けられなかつた。

以上の實驗より見て摩擦係数 μ は m の變化により最小より最大迄約 2 倍位の影響を受けるが D の變化は 50 倍に上下することが知られ、従つて μ を小さくするには m を小さい粉で出来るだけ細かい粉末を用いる事が必要となる。

c) 炭素粉末は壓縮により缺損する**

炭素粉末を金型に入れ壓縮すると粒子は缺損を起す、この缺損の程度は粉末の大なる程又形状係数の大なる程大きく、従つて摩擦係数と略比例することとなる。その状態は第4圖の如く、勿論缺

第 4 圖

損率は加壓力に比例するが粒子の大きさにも比例している。又今假に 115 メッシュの粉末のみ集めたものに對して 1400 kg/cm² の壓力を加へて缺損せしめそのために 115 メッシュ以下の粉末が 8 % 發生した今篩にて 115 メッシュ以下の 8 % 分の粉を捨てるとの大きさの粉のみに前の加壓力の 1/7 即ち 220 kg/cm² の壓力を加へると缺損率は 22 % 程度に昇る。この事は最初の壓力によつて缺損迄進行しないけれども龜裂程度の粉末が第二回の加壓前のものに相當量混入している事を意味するもので、コークスの粉末は壓縮によつて缺損するか又は缺損しない迄も龜裂が入るものであると言ふ事が知れる。

d) 炭素粉末を金型で壓縮する場合金型内の位置によつて缺損率は異なる**

* 昭和 27 年 窯業協會主催 春季學術講演會にて發表す

** 昭和 28 年 窯業協會主催 秋季學術講演會にて發表す

実験によれば炭素粉末を金型にて圧縮する場合第5圖の如く、その金型の周壁より1cm迄の面積内で欠損する量は中央部にて欠損する量より多く大體125%程度になつて居り、又上部と下部とを比較すると下部1に對して上部1.5の増加を示している事が判明する。従つて刷子ブロックを製造する場合下面より上面、又中央より周壁が強度の低いものが出来易い⁸⁾と思わる。この現象は炭素粉末と金型の鐵とは他の部分より摩擦係數が大なるためと上部と下部とでは加壓力の分布は上部は大で下部は小なるためと思われる。以上の實驗は全て刷子の原料であるピッチコークスは欠損し易い組織を有していることを意味するものである故にこのピッチコークスの組織を調査して見た阪大冶金教室の松川博士の指導のもとに平均径0.25mm程度のピッチコークスの斷面を調査して見ると欠損し易いコークスは第6圖の如く層狀の組織があり、加壓により欠損する際はこの層組織に添うて欠損を起すものである。従つて欠損後

第5圖

の粉末の形状係數もやはり大なるもの多く含れている又龜裂もこの層組織に添うて入ることが知れた。しかし河西のコークスの如きは第6圖に示す

如く層組織がなく従つて無理に壓縮して龜裂を生ぜしめてもその龜裂に方向性が無いことが明にされた。

4. 刷子材としての炭素粉末の配列

炭素粉末を集めて成型する場合粉末の配列は長径がZ軸に添つて配列することは稀であり普通X軸かY軸である。従つて成型された炭素材は成形壓縮方向と直角な面(Y軸とX軸と含む面)を有する層狀組織⁹⁾のものが出来易い。この層狀組織があるために刷子材は加壓面とその側面との機械的強度に差が生ずる。例へば引張試験²⁾ ³⁾ * でもZ軸方向はX軸又Y軸のそれより弱くこれは業研第9巻第7.10號に發表してある如くその壓側兩面に差異の少い程欠損に耐える刷子と言ふ事が出来る。

5. 刷子の衝撃欠損耐力と諸特性

刷子保持器内における刷子の運動或は振動等の究明は未だ明らかにされていない** 従つてどのような力がどのように働いて欠損を起すものかと言ふ點も斷言出来る確證を擲んでいないわけである。

第6圖

今刷子を一つの材料として考へて見るに機械的強度に關係ありそうに思へる特性は、(1)硬度、(2)抗折力、(3)抗壓力、(4)抗張力、²⁾ ³⁾ (5)彈性率、⁴⁾ (6)

* 昭和28年11月電氣三學會東京支部連合大會にて發表す

** 現在實驗中

*** 業研にてその10として發表豫定

剛性率,⁵⁾ (b) 固體粒性係數,⁶⁾ (c) 摩擦係數 (廻轉體上で運動する場合), (d) 見掛比重, (e) 有孔度等ありこの場合何れの特性が缺損に對してどの位影響してゐるかはつきり判つてゐない。*** 刷子を試作して之等の調査して見ても炭素材料の特長として製造における各條件がお互に干涉し合つて即ち交互作用が顯著に表わすものでなかなか本體を掴み得ぬのである。しかし別途報告によれば以上列記した特性より寧ろ壓面と側面との特性差を試験する事によつて缺損に對する或程度の目安しをつけ得ると思われる。

筆者は今約 15 年前より行つて來た衝撃試験の結果を前記特性によつて相關分析を行ひ缺損の主因を特性上より捕へて見たいと思つて 50 種の資料について各種の試験を行ひ之れを計算に移している。

6. 結 言

以上説明した如く缺損の根本は原料にある微小クラックとその發達にある故にこの原料を用ひ如何なる工程により製造すればそのクラックの發達を防げるかと云う問題となる。最近技研で試作した炭素刷子は割合にこの各點に對する要求の充されているやうで、現在マスプロ行ひつゝあり完成次第各電車區、機關區で實驗を行いたいと思つてゐる。

要は a) 層組織の無い又は少いピッチコークスを選ぶこと

- b) 炭素粒子は微小なものを用ひること
- c) 炭素粒子は形狀係數 1 に近くなるやうな微粉機を用ふべきこと
- d) 成形壓力は出来るだけ小とすべきこと
- e) 刷子ブロックは面積大にして厚さ小なるものを製造すべきこと

等の諸項について考慮されれば、壓面と側面との特性に差異が表れず。従つて層狀組織のない炭素材が得られ引いては缺損の無いもの或は缺損の少い刷子を得られると思う。 以上

参 考 文 献

- 1) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 1 業研 8—9
- 2) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 6 業研 9—7
- 3) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 7 業研 9—20
- 4) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 2 業研 8—9
- 5) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 4 業研 8—14
- 6) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 3 業研 8—9
- 7) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 5 業研 8—14
- 8) 赤沼哲郎 電氣車用炭素刷子の缺損機構についてその 8 業研 9—14

昭和 28 年度 1・4 半期

人造黒鉛電極丸形出荷内譯

(附—前年度同期對比) 單位トン

	28 1/4	27 1/4	差引減量
國 内	3.581	3.713	132
輸 出	173	1.672	1.500
計	3.754	5.386	1.632

炭協ニュース第 35 號より