第7図(4) 50 ms で一時アークが切れるときの状態で、第6図の I_{fo} は0になっている。

第7図(5) 52 ms 後再びアークが伸び、フラシ・オーバしはじめる。

第7図(6) 約 100 ms のフラシ・オーバの状態。なおこれ等の状態のとき写真に写っていない反対側即ち負ブラシ側でもフラシ・オーバしている。以上の結果は次のように要約できる。

直流機の主電流が急変した場合、3. (第3図) に述べたように一般的に整流火花は電流変化が始まってから或時間経過して出易くなるが、このことは第5図のオシログラムおよび高速度写真によっても示されている。

肉眼では連続的に見えるアークは断続しており特にフラシ・オーバの初期では不安定で時間の経過とともに割合安定したアークとなっている。

フラシ・オーバはガスのように見え、アークは整流子の回転につれてのびてくる。また整流子周辺の風や電磁力等によって移動するのではないかと考えられ、アークが断続する現象もそのような力による影響が大きいものとする。

アークの発展するときのフラシ・オーバ電流は比較的ゆるやかに増加するが、アークの消滅するときの電流は

急に減少することが第5図のオシログラムに見られる。

フラシ・オーバ電流の大きさはこの場合定格の約15倍にもなり、電機子の内部抵抗を含む回路抵抗とアーク電圧降下で制限された電流値となる。

端子電圧がフラシ・オーバ後極性が反転しているが、これは大きなフラシ・オーバ電流が電機子巻線に流れるための電機子反作用によるものとする。

5. む す び

簡単な実験ではあるが、直流機フラシ・オーバのきっかけは多量のイオンを生ずる整流火花であることが判り、フラシ・オーバの状態と電流、端子電圧等のおうよその状況を知ることができた。なお高速度写真撮影は鉄道技術研究所車輛運動研究室松井哲、二本柳忠両氏に御世話になった。

参 考 文 献

- 1) C. A Atwell: RLC 72 (1954-3)
- 2) Mc Clinton & O'conner: Trans Amer Inst. Elect. Engrs 72 Pt III (1953)
- 3) 山村, 山崎: 電学誌 80, 598, (1960)

整 流 子 荒 損 現 象 に 関 す る 実 験 的 研 究

高 橋 広 治*・武 政 隆 —**

Reserchon Phenomena of Commutator Damage

By Hirogi Takahashi and Takaichi Takemasa

(Ibaragi Factory, Hitachi Kakō Co.)

Recently we have met very often with the Phenomena of Commutator damage in chemical factories, paper mills and steel factories, but we have no adequate measure. Then, in order to solve the problem, we studied the phenomena of Commutator damage in normal atomosphere, and the following results were obtained.

It become clear by testing in every way that the Phenomena was caused by electrolysis and mechanical scratch of the brush. And, as a result of experiment, we confirmed that the temperature, humidity, current density and brush material had influence on Commutator damage. Generally under the condition of high humidity and high current density the damage is due to electrolysis, but under the low humidity and poor current density the damage is due to scratch of the brush.

要 旨

* 日立化工株式会社 工博

** 日立化工株式会社 工博

最近化学工場、製紙工場および製鉄所等では直流機の

整流子が荒損されているが、いまだ適当なる解決策がないようである。

本研究ではこれの解決策を得るために正常な大気中における整流子の荒損現象について研究を行ないつぎの結果を得た。

整流子の荒損は電解およびブラシの引掻きによって起ることが種々の実験により判明した。実験の結果、温度、湿度、電流密度およびブラシ材質により著しく整流子の荒損は影響されることを確認した。一般に電解に基因する荒損は高湿度および高電流密度の場合、またブラシの引掻きによる荒損は低湿度および低電流密度の場合に発生し易いことが判明した。

1. 緒 言

最近化学工場、製紙工場および製鉄所で使用されている直流機用整流子ははなはだしく荒損されているが、これに対して適当なる解決策がなく、電機メーカー、カーボンメーカーおよび使用者側においてなやまされている。

整流子荒損原因として塵埃、温度湿度、油、ガス、負荷条件、整流子材質、ブラシ材質およびその他の諸因子が考えられ、荒損現象は極めて複雑である。これらの諸現象を逐一究明すべきであるが、本研究においては取りあえず正常状態の大気中における整流子荒損現象について実験を行ない、その実験結果について検討した。

2. 整流子荒損現象について

直流機用整流子の荒損は前述せる如く種々の原因により発生するが、荒損状況も極めて多種多様である。すなわち、ある直流機では皮膜がなく銅色を呈し、整流子全面が一様に細い条痕が発生しているものもあれば、また大体チョコレート色を呈し、所々幅の広い深い溝ができる場合もある。一方には整流子面が黒化され、銅色の太い条痕と細かい条痕が交互に発生しているものもある。また整流子面には条痕はないが、波状に整流子面が摩耗しているもの、あるいは刷子と同じ幅だけ整流子面が凹状に摩耗している場合もある。

このように整流子の荒損は種々の原因により発生し、しかも整流子面の荒損状況は雑多である。次に一般的傾向として従来経験された事実として荒損は電流方向により著しく差異があることである。たとえば整流子においては正ブラシ（ブラシ→整流子）よりも負ブラシ（整流子→ブラシ）の方がブラシ面に銅が附着しやすく、またリングでは正ブラシ側よりも負ブラシ側リングの方が荒損されやすい。（金属黒鉛質ブラシは逆になる）

上述の現象から Neukirchen¹⁾ は整流子の荒損は電解に基因すると考え、電解はブラシ面にある Herz 帯のま

わりの小間隙に存在する水膜によって行なわれると述べている。すなわち負ブラシの場合は電解により整流子面にはゼリー状の水酸化銅が生成され、一方のブラシ面は銅でおおわれる。また正ブラシの場合、水素イオンは整流子面へ、また水酸基イオンはブラシ面へ移動し、整流子面には H_2 、ブラシ面には O_2 が発生し、 O_2 によりブラシ面は化学的に侵されると Neukirchen は発表されている。また最近発表された O. Bielefeld の論文²⁾ においても湿気によって起る整流子の荒損は電解により発生することを述べている。しかしこれらの論文では実験的裏付けが明確にされていない。

3. 実験方法

3.1 銅リング

本研究では整流子材質としての銅を対象とし、基礎的現象を把握するため、銅リングの荒損現象、原因および機構を解明するため実験を行なった。厚さ 19.2 mm の軟銅板（市販品）から直径 40~60 mm、幅 19 mm の銅リングを所要個数だけ加工し供試試料とした。したがってこれらの銅リングはすべて同一の素材から採取しているから実質的にはすべて同じ材質であるとみなすことができる。

3.2 実験装置

図 1 に示す如く同一軸に数個の銅リングを固定させ

図 1 実験装置略図

これを電動機により駆動させた。回転数は 1,450 r.p.m. である。図 1 に示す如く電流がブラシからリングへ流入し、他のリングから流出するようにした。したがって本文では流入する側のリングを正極側リング、流出する側のリングを負極側リングと呼ぶことにする。

3.3 ブラシ材質

ブラシ材質としては油煙系、油煙コークス系および黒鉛系等の各種材質を用い、ブラシ寸法は 10×16×25 mm で、1 枚のブロックより所要の個数だけ加工した。したがってこの場合も一応ブラシ材質については同じ材質であるとみなすことができる。

3.4 測定項目

測定項目として接触電圧降下、リングおよびブラシの摩耗量、銅リング表面粗さ、硬度、X線回折、光学およ

表 1 銅リングの荒損およびブラシ摩耗実験結果

リング 番号	滴下水量 (c.c./Hr)	電 流 方 向	電流密度 (A/cm ²)	接蝕電圧 降下(V)	ブラシ摩耗量 (mm/1,000Hr)	リング摩耗量 (mm/1,000Hr)	リング表面粗さ (S)
1	0	—	0	—	0.10	—	2.2
4	15.2	—	0	—	2.00	—	2.1
3	0	正 (ブラシ→リング)	8	0.50	0.55	—	2.0
2	0	負 (リング→ブラシ)	8	1.00	0.90	—	4.0
6	21.9	正 (ブラシ→リング)	8	1.88	156.00	0.50	1.5
5	20.6	負 (リング→ブラシ)	8	1.90	420.00	2.35	9.0

実験条件 実験時間：200 Hr, リング：40 φ×20 mm 銅リング, 回転数：1450 r. p. m.
ブラシ圧力：200 g/cm²

び電子顕微鏡により測定ならびに観察を行なった。

表面粗さ測定器としては Profilo Meter (Physicists Research Co. U. S. A) および大越式表面粗さ検査機(科研製)等を用いた。電子顕微鏡は日立製型 HU-10 型を用い、メチルカーボン・レプリカ法を採用した。

4. リング面へ水を滴下せる場合の荒損

4.1 銅リング荒損およびブラシ摩耗

前述せるように整流子面の荒損は電解に基因するとすれば、リング面へ水を滴下しつつ通電の状態ではブラシを摺動させれば当然負極側リングが正極側より甚しく荒損される筈である。これを確認するために通常状態および水を滴下せる場合において無電流ならびに通電状態の銅リング荒損状況を観察した。なおブラシは油煙系整流用ブラシを用い実験を行なったところ表1の結果を得た。

表1より明らかなように無電流の場合は水を滴下する与否に関係なく、リングおよびブラシの摩耗量は少なく、かつ表面粗さも小さい。これに対して通電の場合は正常状態において正極側リングより負極側リングの方が表面粗さは大きい。また水を滴下せる場合は正極側リングはほとんど荒損されないが、負極側リングははなはだしく荒損され、ブラシ摩耗量も100~400倍に増大した。

図 2 正常状態における銅リング表面粗さ

4.2 銅リング摺動面

4.2.1 摺動面の粗さ

リング面の定量的粗さは表1の通りであるが、表面粗さの状況は図2の通りである。図2を見ると No. 2 リングすなわち負極側リングは正極側 (No. 3 リング) よりも荒損されていることは明瞭である。またリング面に水を滴下通電せる場合は図3に示す通りで、正極側

図 3 水を滴下して通電せる場合の銅リング表面粗さ (No. 6 リング) よりも負極側リング (No. 5) の方がはなはだしく荒損されている。

4.2.2 電子顕微鏡による観察

供試リング表面を電子顕微鏡により観察すると、無電流の場合はリング面に酸化皮膜および摩耗粉末らしきものが認められるが、銅の組織の変化は認められなかった。

次に正常状態における通電の場合は図4に示せる如く正極側リング表面の組織変化は認められなかったが、負極側リング面には結晶の亀裂らしい線が認められた。

給水通電の場合のリング表面は図5の通りで、正極側リング面にははなはだしい結晶破壊は認められないが、負極側リング面の結晶ははなはだしく破壊されている。

4.2.3 光学顕微鏡による観察

負極側リングは正極側リングに比較してリングの結晶が破壊されていることが判明したが、さらにこれを確認するために光学顕微鏡で観察した。すなわちリング摺動面と直角方向にリングを切断し、この断面部分を観察し

(上) 正極側リング (下) 負極側リング×1470

図 4 通電せる場合における銅リング表面の電子顕微鏡写真

(上) 正極側リング (下) 負極側リング×1470

図 5 水を滴下し通電せる場合における銅リング表面の電子顕微鏡写真

図 6 負極側リングの断面組織 ×220
(slip line を示す)

た。図 6 は正常状態において通電せる場合の負極側リングの断面部分の組織を示す。図 6 を見ると摺動面に近い結晶に数本の平行な直線すなわち Slip line が認められ、明らかに結晶が歪りを起していることが認められる。この結果は図 4 の結果と符合する。

次に給水通電の場合における正極側リングの組織は図 7 の通りで、異常な組織は認められない。これに対して負極側リングの場合は摺動面より 0.1~0.2 mm までの深部まで結晶の境界層が著しく電蝕されている³⁾。

(上) 正極側リング (下) 負極側リング×220

図 7 給水通電せる場合における銅リングの断面組織

4.2.4 ヴィッカース硬度

電子顕微鏡および光学顕微鏡による観察では明らかにリングの組織変化は電流方向により著しい差異があることが判明したが、さらに硬度による相違を検討した。

図 8 硬度測定位置説明ならびに加工効果および焼鈍効果による硬度分布曲線

リング摺動面と直角なる断面部の材質は図 8 の如くブラシ摺動による加工効果と摺動面温度上昇による焼鈍効果をうけ、前者は硬度を高く、後者は逆に低下させることが予想される。ブラシ摺動の場合は加工効果と焼鈍効果が同時にあらわれる結果、加工効果が焼鈍効果が大きい場合は図 9 の A 曲線に、また逆の場合は同図の B 曲線のようになるであろう。本実験ではこのような見

図 9 加工効果および焼鈍効果を考慮した場合の硬度分布曲線

地からリング摺動面と直角なる断面部の硬度分布を測定した。図 10～図 12 は摺動面に最も近い点より中心に向かって 0.5 mm 間隔に硬度を測定せるものである。

図 10 無電流の場合における銅リング硬度分布曲線

図 10 は無電流の場合で、給水すると否とに関係なく大体同じ傾向を示している。すなわち摺動面に近い部分の硬度は 80～90 でリング中央部 (70 前後) より高くなっているが、焼鈍効果は顕著にあらわれていない。

図 11 通電の場合における銅リングの硬度分布曲線

図 11 は正常状態における通電の場合で、摺動面に近い部分の硬度は電流方向に関係なく、大体 82～83 前後であるが、焼鈍効果は正ブラシの方が負ブラシの場合よりも顕著にあらわれている。

図 12 給水通電の場合における銅リング硬度分布曲線

図 12 は給水通電せる場合で負極側リングは正極側リングよりも摺動面に近い部分の硬度が著しく高くなっているのが注目される。また摺動面に最も近接せる部分の硬度は正負リングともに若干低下していることが目立っている。

4.2.5 X 線回折

銅リング表面の結晶状況を観察するために、CO, $K\alpha$ の特性 X 線を用い (400) 面から回折線 (Debye 角: $81^\circ 46.5'$) 写真をとった。すなわちブラシ不摺動部分の如くブラシ摺動による stress が無い時は (焼鈍リングを使用しているので) $K\alpha_1$ と $K\alpha_2$ とが明瞭に分離し、 $K\alpha_1$ および $K\alpha_2$ の回折線は何れも Sharp に見える。しかしブラシ摺動による Stress をうけているリング面の回折線は結晶が微細化されているためにかなりボケて見える。このような見解から供試リング面を X 線回折により検討した結果次の結果を得た。

(A) 無電流の場合は通電の場合よりも干渉線がぼけ、リング面の結晶が微細化されている。

(B) 通電の場合は負極側リングの方が正極側リング

よりも干渉線はボケ、リング面の結晶は微細化されている。

(C) HNO_3 でリング面を処理した場合よりも未処理の場合の方が干渉線はボケ、結晶は微細化されている。したがって結晶の微細化はリングの微小表面層に著しいことがわかる。

(D) 結晶が微細化されるほど表面硬度は高くなると考えれば(A) および(B) 項は硬度測定結果と一致する。

4.2.6 ブラシ面の観察

銅リング表面状況は前述した通りであるが、ブラシ面についても電子顕微鏡により観察した。

図 13 は無給水通电の状態でブラシを摺動させた場合におけるブラシ面の状況を示せるものである。

(上) 正ブラシ面 (下) 負ブラシ面

図 13 通电後における油煙系ブラシ面の電子顕微鏡写真

図 14 は給水、通电の状態で摺動させた場合におけるブラシ面の状況である。

これらの電子顕微鏡写真をみると、給水通电の場合の方が無給水通电の場合よりもカーボン粒子が微細化されている。また接触面に近い部分の組織を光学顕微鏡で観察せる場合も給水通电の場合の方が無給水通电の場合よりもカーボン粒子の境界層が荒され、粒子が容易に脱落

(上) 正ブラシ面 (下) 負ブラシ面
×1260

図 14 給水通电後における油煙系ブラシ面の電子顕微鏡写真

しやすい状態になっていた。図 15 は光学顕微鏡写真を示せるものである。

(上) 実験前 (×63)
(下) 実験後 (×200)

図 15 給水通电実験前後における油煙系ブラシの組織

4. 3 実験結果の検討

リングの荒損は電解に基因するという考え方が正しいか否かを前述の実験結果について検討した。電解説が正しいと考えられる実験結果は次の通りである。

- (1) 無電流では荒損しない。
 - (2) 通電の場合は正ブラシよりも負ブラシ側リングの方が荒損する。
 - (3) 無電流でリング摺動面に水を適下した場合には荒損されない。
 - (4) 通電の状態水を滴下した場合は正ブラシよりも負ブラシ側リングが甚しく荒損される。
- 次に電解説が否定される実験結果は次の通りである。
- (5) 無電流の場合は通電せる場合よりも結晶が微細化され、硬度が高い。これは無電流の場合は通電せる場合よりも摩擦が大きいため、ブラシ摺動による加工効果が大きいためと解される。
 - (6) 給水通電の場合、荒損せる負ブラシ側リングは正ブラシ側リングよりも表面硬度が大きい。(電解の場合は硬度は同じである。)

以上述べた如く(1)～(4)までは電解説でなければ現象を説明することができないが、(5)および(6)の項についてはブラシ摺動による加工効果を見捨てることは困難である。すなわち電流の有無によりブラシ摺動による加工効果が異なることは電流の大小によってもリング(整流子を含む)の荒損に影響を与えることを示すものである。また給水通電の場合、負極側リングの方が正極側よりも甚しく硬度が高いことは電解に基因する荒損ばかりでなく、ブラシ摺動に基因する荒損が含まれていることを示すものである。

5. 絶対湿度およびブラシ電流密度と リング荒損との関係

5. 1 絶対湿度

整流子面の荒損は摺動面に介在する水膜による電解に基因するとすれば高湿度になるほど水膜は厚くなり電解は促進される。また低湿度になれば逆に水膜はうすくなり、電解に基因する荒損は減少する筈である。これを確認するために、絶対湿度を変えた場合における銅リング荒損現象について検討した。

図16は絶対湿度(1立方メートルの大気に含まれる水分の量)と負極側銅リング表面の損荒との関係を示せるものである。本実験では電流密度 1.25 A/cm^2 、周速 3 m/sec 、ブラシ圧力 200 g/cm^2 の条件で行なった。この結果を見ると傾向としては油煙系およびコークス系ブラシに関係なく低湿度になるほど荒損が大きくなっている。また高湿度になるほどリングの荒損が大きくなる。この現象は

図16 絶対湿度と負極側銅リング荒損との関係

大気中ばかりでなく水素中の場合でも同様な傾向が認められた。

5. 2 絶対湿度と電流密度

前述の実験では電流密度を 1.25 A/cm^2 にしたが、図17では絶対湿度および電流密度を変えた場合における銅リング荒損状況を検討した。図17を見ると絶対湿度

図17 電流密度および絶対湿度と銅リング荒損との関係

6.3 g/m^3 の場合は電流密度が低くなるほど銅リングの荒損は増大している。また絶対湿度 18.4 g/m^3 の場合も傾向としては同じであるが、同一低電流密度の場合前者より後者の方が銅リングの荒損は小さい。これに対して絶対湿度が 33.4 g/m^3 の場合は若干趣きを異にし、 $4 \sim 6 \text{ A/cm}^2$ 前後の時銅リングの荒損は最大になり、 2 A/cm^2 および 8 A/cm^2 の電流密度ではリングの荒損は小さくなっている。

5. 3 実験結果の検討

前述の実験結果をみると

- (6) 低湿度になるほど荒損が大きい。

- (7) 低電流密度になるほどリングは荒損される。

の事項が判明した。結局低湿度になるほど水膜が減少してブラシの潤滑性が低下し、リングが荒損されることが判明した。したがって整流子の荒損原因として電解現象ばかりでなく、ブラシ材質の引掻きによる荒損を考える必要がある。

6. ブラシ材の引掻きによる荒損

6.1 ブラシの潤滑性と荒損

以上述べたように整流子の荒損は電解ばかりでなく、ブラシの引掻にも関係があるとすれば、ブラシの潤滑性を改善することにより、ある程度荒損は減少する筈である。これを確認するために同一素材から多孔質油煙系ブラシを加工し、その中から所要個数のブラシに特殊処理を行ない、ブラシの潤滑性を改善した。また潤滑性の改善効果は摩擦、摩耗および電子回折による黒鉛結晶の配向性により確認した。すなわち潤滑性が改善されるとすれば処理ブラシの摩耗および摩擦は当然無処理ブラシより小さくなり、結晶の配向性も改善されることを利用した。

なお本実験では同一材質の一部について処理を行ない、無処理のものと比較したが、処理による材質の変化が問題になる。よって処理による見掛け比重、固有抵抗、弾性係数および抗折力の変化を検討したが全くないことを確認した。

実験 1 通常状態における実験

無処理および処理ブラシを直径 $60\phi \times 20$ mm の銅リングに摺動させ、ブラシ電流密度 3.1 A/cm^2 、ブラシ圧力 200 g/cm^2 、周速 4.5 m/sec 、実験時間 400 Hr の条件で実験を行なったところ表 2 の結果を得た。また図 18 はリング表面の荒損状況を示せるもので、表 2 の結果と定性的に一致している。これらの結果をみると明ら

図 18 無処理ブラシおよび処理ブラシ摺動による銅リング表面粗さ

表 2 通常状態におけるブラシ特性実験結果

ブラシ	処 理	極性	ブラシ 温 度 (°C)	リング 粗 さ (S)	ブラシ摩耗 (mm/1,000Hr)		接 触 電 圧 降 下 (V)		
					測定値	平 均	最 大	最 小	平 均
油煙系	無処理	正 負	59.6	5.0	0.55	0.58 _s	0.61	0.31	0.44
			59.5		0.62		0.84	0.46	0.54
"	A処理	正 負	59.4	2.1	0.30	0.46 ₀	0.69	0.35	0.49
			59.3		0.62		0.68	0.26	0.47
"	B処理	正 負	59.0	3.1	0.42	0.47 _s	0.62	0.33	0.46
			58.5		0.53		0.63	0.32	0.52

実験条件 電流密度: 3.1 A/cm^2 , ブラシ圧力: 200 g/cm^2 , リング: $60\phi \times 20$ mm
銅リング, 回転数: 1450 r.p.m. , 実験時間: 400 Hr , 温度: $25 \sim 30^\circ\text{C}$,
相対湿度: $60 \sim 70\%$

表 3 油を滴下した場合のリング荒損実験結果

ブラシ	処 理	極性	リング表面粗さ (S)			ブラシ 温 度 (°C)	接 触 電 圧 降 下 (V)	ブラシ摩耗 (mm/1,000Hr)
			最 大	最 小	平 均			
油煙系	無処理	正 負	13	9	10.9	88	0.88	21.3
						84	0.87	20.9
"	A処理	正 負	8	5	6.9	100	0.94	11.0
						100	0.98	14.0
"	B処理	正 負	6.5	4	5.4	96	0.91	11.8
						88	0.87	16.0

実験条件 油滴下量: 0.07 c.c./Hr , 実験時間: 100 Hr , 電流密度: 4 A/cm^2 ,
リング: $100\phi \times 20$ mm 銅リング, 回転数: 1450 r.p.m. ,
ブラシ圧力: 200 g/cm^2

かに潤滑性を改善した処理ブラシの方が無処理よりもブラシ摩耗および銅リングの表面粗さが小さい。

実験 2 油をリング面へ滴下させた場合

整流子表面に油が附着すると整流子面がはなはだしく荒損されることは周知の事実である。このような条件下で処理ブラシはどの程度荒損を防止できるかを検討するために、タービン油 #120 をリング面に滴下させて実験を行なった。表 3 は油を滴下した場合のリング荒損、接触電圧降下および摩耗量を示せるものである。また図 19 は銅リング表面の荒損状況を示せるものである。

表 3 および図 19 の結果より明らかな如く処理ブラシは無処理ブラシに比較して銅リングの荒損および摩耗が小さく良好である。したがって潤滑性を改善したブラシは無処理ブラシよりも銅リングの荒損防止効果は大きく

図 19 油を滴下した場合における無処理および処理ブラシ摺動による銅リング荒損状況

と考えることができる。

6.2 各種ブラシの荒損防止効果

前述の実験でブラシの潤滑性を改善すればリングの荒損を防止することができることが判明したので、各種ブラシにより検討することにした。ブラシ材質としては油煙系、コークス系および黒鉛系の 3 種類のブラシを用

い、給水、通電の状態でブラシを摺動させた場合における銅リングの荒損状況を観察した。その結果は表 4 の通りである。なお表 4 の実験条件は表 1 と同じである。

表 4 をみると、給水通電の場合は油煙系ばかりでなくコークス系でも黒鉛系ブラシでも銅リング表面は甚しく荒損されている。通常の状態では油煙系よりもコークス系および黒鉛系ブラシの方が荒損は少ないが、給水通電の場合は逆にコークス系および黒鉛系ブラシの方が甚しく銅リングは荒損されている。図 20 および図 21 は銅リング断面部分の組織を示せるもので、コークス系は負

×220

図 20 給水通電の状態でコークス系ブラシを摺動させた銅リングの断面組織

表 4 各種ブラシと銅リング荒損の結果 (水をリング面へ滴下せる場合)

ブ ラ シ	滴下水量 (c.c./Hr)	電流密度 (A/cm ²)	極性	リング表面 粗 さ (S)	接触電圧 降下 (V)	ブラシ摩耗 (mm/1,000Hr)
油 煙 系	21.9	8.2	正	1.5	1.88	156.0
	20.6	8.2	負	9.0	1.90	420.0
試作ブラシ 黒 鉛 系	13.6	8.0	正	2.0	0.59	43.3
	13.6	8.0	負	5.0	1.13	77.6
コークス系	12.8	7.8	正	3.0	0.8	57.0
	12.8	7.8	負	18.0	1.7	182.0
黒 鉛 系	8.9	7.8	正	2.8~6.0	0.6	80.0
	10.9	7.8	負	5.0~36.0	1.0	53.0

実験条件 表 1 と同じ

(上) 正極側リング
(下) 負極側リング

図 21 給水通電の状態で黒鉛系ブラシを摺動させた銅リングの断面組織

極側リングが、また黒鉛系ブラシは正負両極側リングともに粒間腐食を発生している。結局給水通電の状態、あるいは非常に高湿度の場合においては油煙系よりも却ってコークス系および黒鉛系ブラシの方が荒損が大きいことを示す。恐らくこれは油煙系ブラシに比較してコークス系および黒鉛系ブラシの場合は摺動面に摩耗粉末が附着しやすいため、荒損されやすくなるのではないと思う。

6.3 試作ブラシの荒損防止効果

コークス系および黒鉛系ブラシは油煙系ブラシよりも黒鉛結晶の配向性がよく、潤滑性も良好である。しかし給水通電の場合はもちろん、高湿度になるほど摺動面に摩耗粉末が附着しやすくなるために逆に荒損が大きくなると考えた。この考え方が正しいか否かを確認するために、黒鉛系ブラシで特に摺動面に摩耗粉末の附着しにくいブラシを試作して実験を行なった。この場合の結果は表4の通りで、銅リングの荒損が他のブラシよりも著しく少なく良好である。

図 22 は銅リング表面の荒損状況を示せるもので、図 3 に比較して荒損は著しく小さくなっている。

図 23 は銅リング断面部分の組織を示せるもので、図

図 22 給水通電の状態で試作ブラシを摺動させた銅リング表面粗さ

(上) 正極側リング (下) 負極側リング

図 23 給水通電の状態で試作ブラシを摺動させた銅リングの断面組織

7, 図 20 および図 21 に比較すると結晶の境界層の電蝕はほとんどなく結晶粒間腐蝕は発生していない。

図 24 は銅リング表面の X 線回折写真で、黒鉛ブラシを摺動させた No. 11 (正) および No. 15 (負) リングの回折像はかなりボケている。これに対して試作ブラシを摺動させた No. 16 (正) および No. 19 (負) リン

図 24 試作ブラシおよび黒鉛ブラシを摺動させた銅リング面のX線回折写真

グの回折像は斑点が認められボケが少ない。結局ボケが小さい方のリングは結晶の微細化があまり多くないことを示すもので、X線回折からも試作ブラシは黒鉛系ブラシよりも荒損が小さいことが推定できる。

以上の結果から試作ブラシの荒損防止効果は他のブラシより大きいことが判ったので、GH-545と言う名称で製品化され実用機に使用されている。現在までに判明した実用成績は他のブラシに比較して、大気中に有害ガスがない場合には整流子の荒損が著しく少なく良好である。

7. 考 察

7.1 荒損の原因

従来整流子の荒損は電解に基因すると考えられていたが、本実験では次の2因子が考えられた。

- (A) 電解に基因する荒損
- (B) ブラシの引掻きに基因する荒損

結局荒損の機構としては電流が流出する銅リング面よりイオンの形で銅が局部的に離脱してブラシ面へ移動する。その結果リングは粗面となり、さらに結晶粒間腐蝕によりリング面は脆弱化する。このような腐蝕作用の下に、ブラシ摺動による繰返し応力が与えられるため、表面の皮膜および結晶は局部的に破壊され、甚しい荒損に移行するものと推察される。次に高湿度の場合においては摩耗粉末の附着しやすいブラシほど不均一な皮膜が生成され、その結果局部電流が過大になり、局部的に電蝕

を生ずる。また低湿度の場合には摩耗粉末の附着が少なく比較的均一な皮膜が生成されるため、電蝕は少ないが、摩擦過大になりブラシの引掻きによる荒損が大きくなるものと解される。

7.2 無電流の場合における荒損現象

ブラシの引掻きにより整流子が荒損されるとすれば当然無電流の場合でも荒損される筈であるが、事實は逆である。すなわち通電の場合よりも無電流の場合の方が摩擦係数が大きいことは宗宮博士⁴⁾ および一木博士⁵⁾ の研究で実験的に明らかにされている。また摺動面の銅は通電の場合よりも無電流の場合の方が結晶が微細化されていることをX線回折および電子顕微鏡により確認されている。したがって無電流の場合には通電の場合よりもブラシの引掻力は強く作用される筈であるが、実際は荒損されない。この理由についてはまだ実験的に確認されていないが、一応次の見解をとっている。

すなわち無電流の場合は電流による皮膜の破壊がないため、一様な皮膜が摺動面に生成され、皮膜により保護されているという考え方である。通電により皮膜が破壊されれば、直接ブラシ面の堅硬質の物質が露出せる銅を摺動することになり、ブラシの引掻力が作用するものと考えている。また高電流密度になれば皮膜が破壊された部分へ局部電流が流れ電解現象へ移行することも容易に推察される。

7.3 実際の使用状態における整流子荒損状況

実際の使用状態における整流子の荒損状況は前述せる如く種々雑多である。

7.3.1 電解に基因する場合

- (A) 非常に高湿度である場合
- (B) 電流密度が著しく高い場合
- (C) 少数のブラシに電流が集中する場合
- (D) 整流子面の皮膜が甚しく不均一なるため、過大なる局部電流が流れる場合
- (E) ブラシの配列特に正負が交互に配列されていない場合
- (F) 腐蝕性ガス（例えば SO_2 ）が大気中に存在する場合
- (G) その他

上述のような使用条件下では電解による荒損が発生しやすい。電流が局部的に集中した場合に電解による荒損が発生し易いので、この場合の整流子の条痕は幅が広く深いものが多い。また負ブラシ面には銅が附着しやすく、正ブラシ面には附着しない場合が多い。この外局部的に大きな火花が発生すると、その部分の整流子面は荒損されるが、この場合は容易に判別できる。

7.3.2 ブラシの引掻きに基因する場合

(H) 低電流密度の場合 (特に 4 A/cm^2 以下)

(I) 低湿度の場合

(J) 特定のブラシの電流密度が低い場合 (不平衡電流により)

(K) 整流子温度が低くすぎる場合 (50°C 以下)

(L) 皮膜その他の原因により局部的に電流が過少の場合

(M) 油蒸気その他有害ガスがある場合

このような条件下ではブラシの引掻きによる荒損が発生しやすい。この場合の条痕は一般に細いすじが一樣にあらわれ、整流子面も皮膜がなく銅色を呈している場合が多い。また時によってはブラシ幅と同じ幅の凹状摩耗を発生したり、あるいは波状摩耗を起している場合も相当見受けられる。この外大気中に塵埃が非常に多い場合も同様な現象が認められる。

7.4 対 策

前述せるように整流子の荒損は電解および引掻が同時に作用して発生するものであり、しかもこれを誘発する直接および間接の原因となるものは非常に多い。また同一な因で荒損が発生するとしても、環境、使用条件、直流機の構造 (特に軸受) 火花の有無等により荒損状況は著しく異なる。したがって如何なる直流機に使用しても絶対に荒損をさせない万能ブラシは期待することは困難である。現在の段階では使用者側で電機メーカーおよびカーボンメーカーと打ち合せを行ない、その直流機に適当なブラシを選定して使用する以外に名案はないようである。

8. 結 言

整流子荒損は種々の原因で発生するが、本研究ではと

りあえず正常の大気中における整流子荒損現象について研究を行ない、つぎのことが判明した。

従来整流子を荒損させる直接の原因として、電解現象が考えられていたが、実験の結果正しいことが判明した。しかし荒損現象を詳細に検討してみると、電解説のみでは現象を説明できない部分もあった。例えば低電流密度および低湿度の場合における荒損現象である。しかしこの現象に対してはブラシの引掻きによる荒損を考慮すると一応の説明ができるようである。なお引掻説に対しては特別にブラシを試作して実験を行ない、あるいは銅リングの組織変化の観察により一応の裏付実験を行ない、これの正しいことを確認した。

本研究を行なうに当たり、御助言と御援助とを賜わった日立製作所日立工場、日立研究所および日立化工関係者、また慶大教授宗宮博士、日立研究所一木博士ならびに日本学術振興会第 117 委員会の方々より御指導を戴いた。ここに厚く御礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) Neukirchen :
- 2) O. Bielefeldt : E.T.Z. A-11 p.-36 (1953 年 1 月)
- 3) 山本 : 金属材料の腐食性質 p.-31 (昭 15 年 5 月)
- 4) 宗宮 : 炭素 Vol. 1, No. 4 p.-166 (昭 25 年 11 月)
- 5) 一木 : 日立評論 Vol. 30, No. 6 p.-239 (昭 24 年 4 月)
- 6) 高橋, 武政 : 日立評論 Vol. 30, No. 5 p.-171 (昭 23 年 12 月)

(37—7—24 受)