

油中しゅう動に適する接触子材料

Sliding Contact Materials Suitable for Current Collection in Oil

竹内 久 祐*
Hisasuke Takeuchi

小林 豊 治*
Toyoji Kobayashi

益 富 文 男**
Fumio Masutomi

内 容 梗 概

油中しゅう動摩耗試験機を製作し、これを使用して硬銅を相手材とする10余種の接触子材料の比較消耗試験を行なった。銅鉄合金および焼結タングステン合金が好成績を示したので、次に実用のタップ切換器を用いて通電試験を行なった結果、銅鉄合金はそれ自体の摩耗量が小さいばかりでなく銅セグメントに与える傷あとも最も軽微なことがわかり、すぐれた集電材料であることが確認された。

1. 緒 言

近年変圧器、電気車両などにおいて電圧調整に使用するタップ切換器が付属する場合、これが高圧絶縁を長期間完全維持することが望まれており、そのためには使用される接触子材料の通電しゅう動による摩耗がきわめて小さいことが重要である。というのは、通常高圧のタップ切換器本体は油中に設置され、多数のタップ（セグメント）に対し少数個の接触子（刷子ともいう）がしゅう動移動を行なっているうちに両者の摩耗により金属粉が発生し、それがある程度以上油中に懸濁すると絶縁耐圧が低下し重大な故障を起こすおそれがあるからである。接触子はタップ間を移動するさいアークを生じないように設計されているが常時大電流を通ずる関係上、電気伝導度の高い金属であることが必要である。

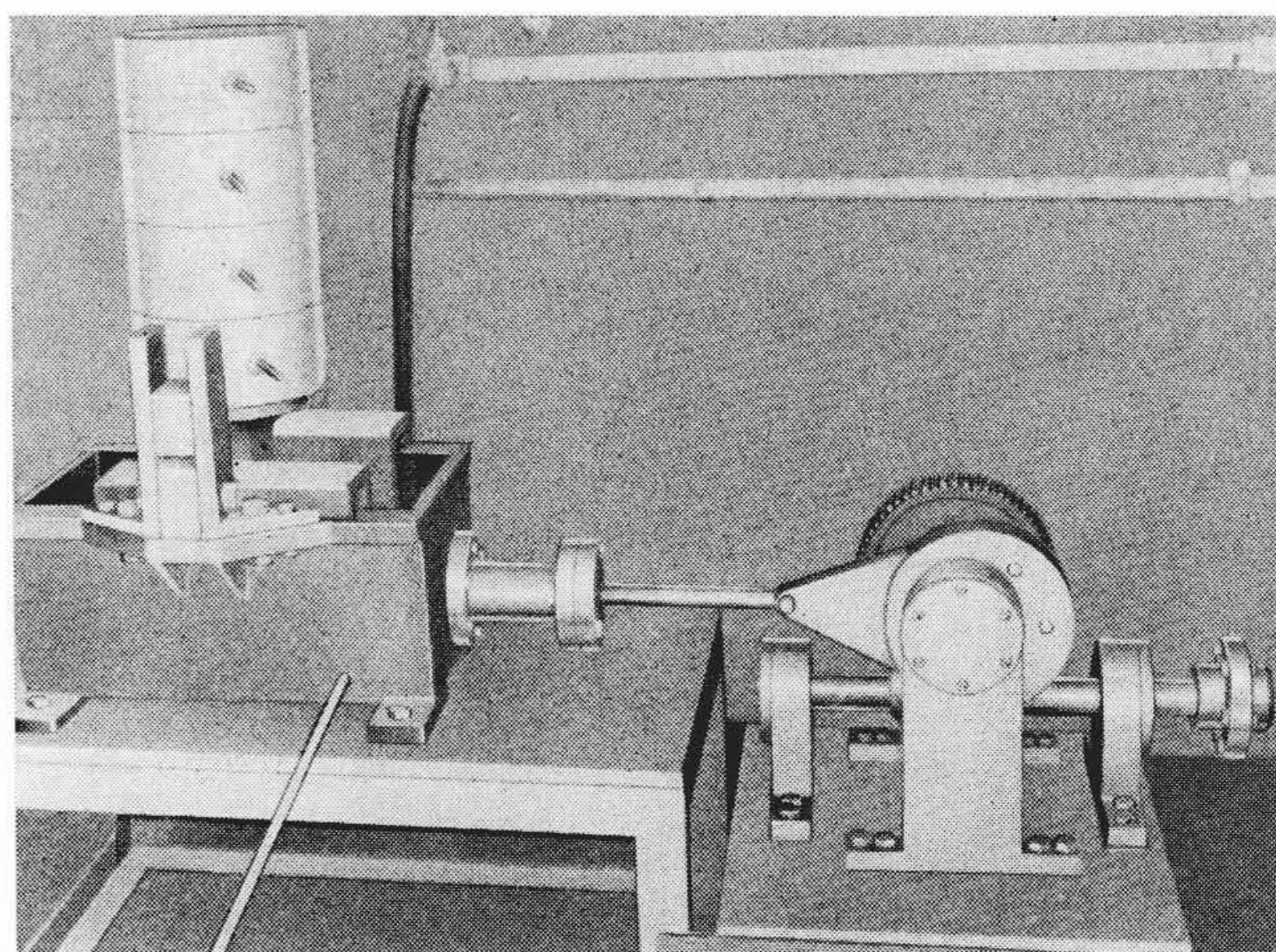
このほかに、使用条件は異なるが電車のパンタグラフのスリ板のように一応消耗品と考えられていて、その摩耗速度が経費と関連するので問題にされる部品も少なくない。そこで安価にして耐摩耗性のよい導電材料の好適な組み合わせを見いだすことは、応用も広く、機器の保守の簡易化と信頼性の向上に資するところが大きいといえよう。

さて、集電を目的としないしゅう動部品では軸と軸受のように速度や荷重を考慮して材料の組み合わせを選ぶことになるが、電気接触子においては当然銅や銀を主体とする材料を考えることになり、趣きを異にする。従来この方面の研究発表は少ないので、筆者らは実用製品のしゅう動機構と類似した摩耗試験機を作製し、10余種の導電合金を調製して比較試験を行なった。以下その結果を報告する。

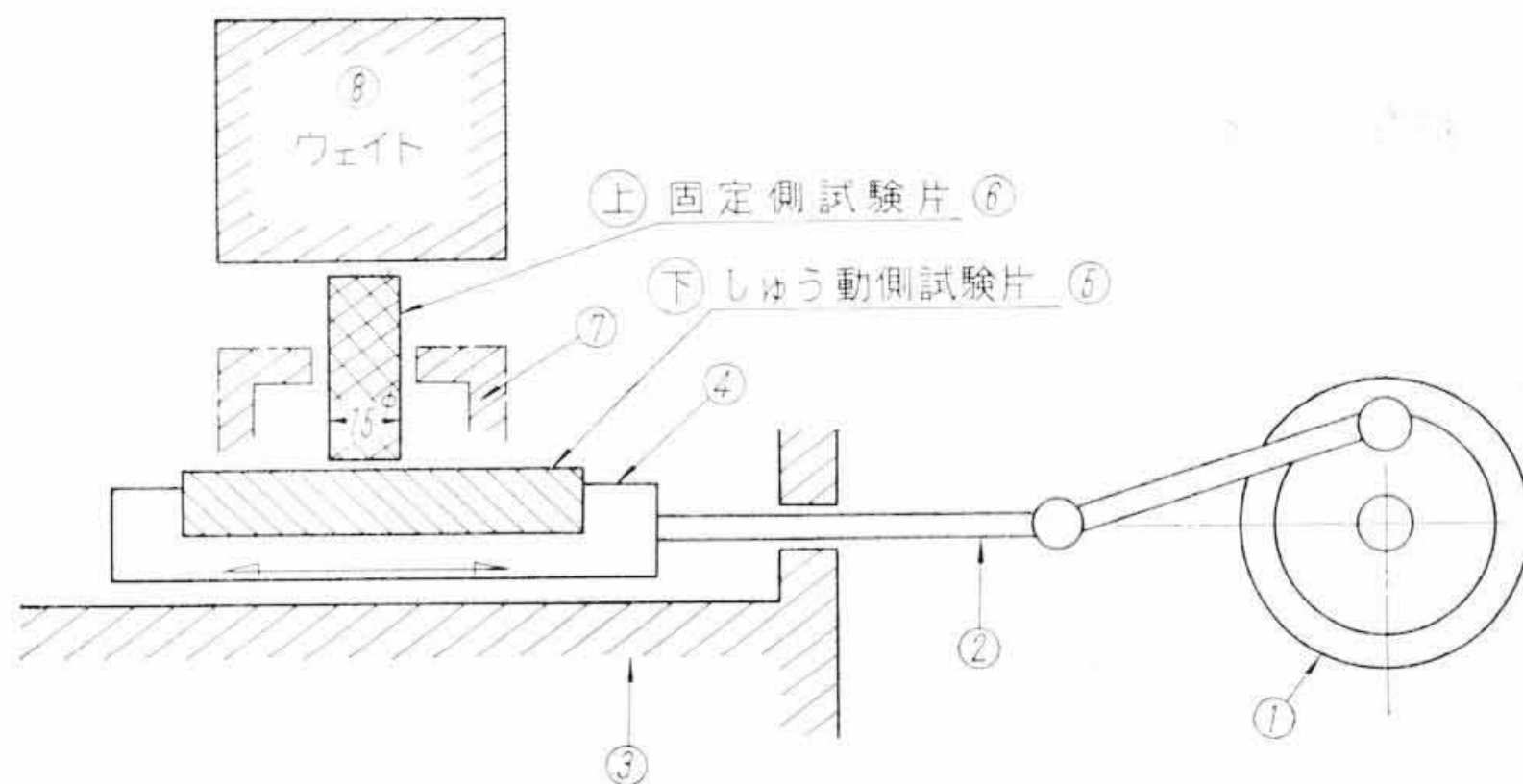
2. 試 験 方 法

2.1 水平しゅう動試験

まず、2種金属体は無通電でしゅう動を与え、両者の重量減を求める摩耗試験機を作製した。第1図はその外観を示し、第2図はその機構を示した略図である。第2図について説明すると、本装置は1 HP の電動機の回転をクランク機構により水平の往復運動に変える方式で、回転板①は25 rpm に減速され、ピストン②によって、油を満たした試験機台の中にある試験片⑤を左右に運動させる。その往復のストロークは50 mm で、1往復の時間は2.4秒である。④は試験片取付金具である。次に、相手金属の試験片⑥は床面に対し固定され、⑦はこの固定試験片の取付金属を取り付ける雇である。⑧はウェイトで5~125 kg の範囲に加減できるよう分割されている。結局ずりりと墨のような関係となるが、ずりに当る方が単弦往復運動していることになるので、これをしゅう動側と呼び、その上に



第1図 水平しゅう動式摩耗試験機の外観



第2図 試験機機構説明図

位置する試験片の方を固定側と呼ぶことにする。一組の試験片の形状を第3図に示す。

1回の試験は、往復しゅう動1万回で延べ6.4時間費やして行なわれた。使用した油は変圧器油である。試験前の面の仕上げは一定とし、しゅう動後の両試験片の面の荒れを観察して重量変化と対照した。

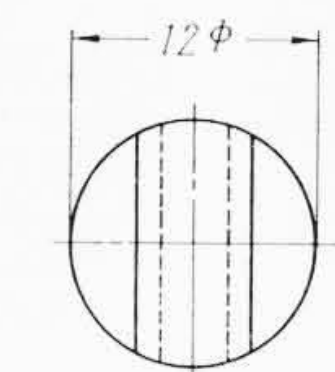
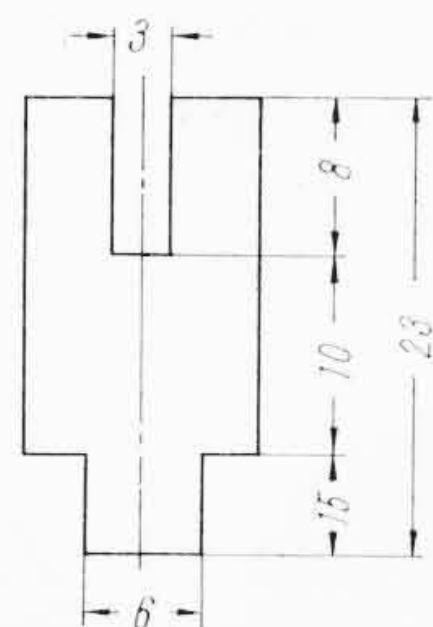
2.2 実用的試験

交流電気機関車用高圧タップ切換器の油中本体を使用して寿命試験を行なった。セグメントは6個の銅板を垂直面上に配置したもので、これに対し試験用刷子4個を同時にしゅう動させるようにした。刷子はバネ圧力2~5 kg でセグメントに押しつけられながら75 mm/s の速度でタップ上を移動し、下端から上端までの間を往復させること3万回をもって1回の試験とした。刷子の形状は前節の固定側試験片とほぼ似たものである。電気回路は第4図に示すとおりで、別に気中遮断器と限流抵抗器を配置し、油中本体における電圧タップの切換を無電弧で行ない、刷子とセグメントに関しては実用機と等価の回路にしている。

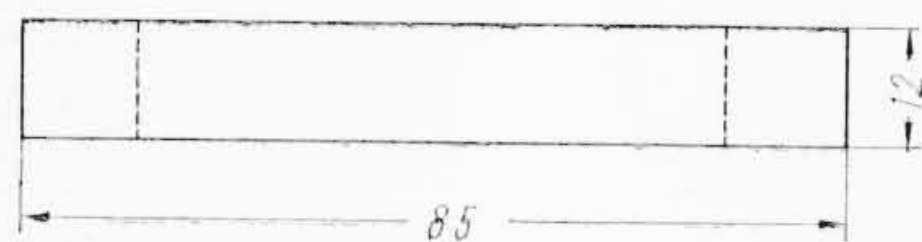
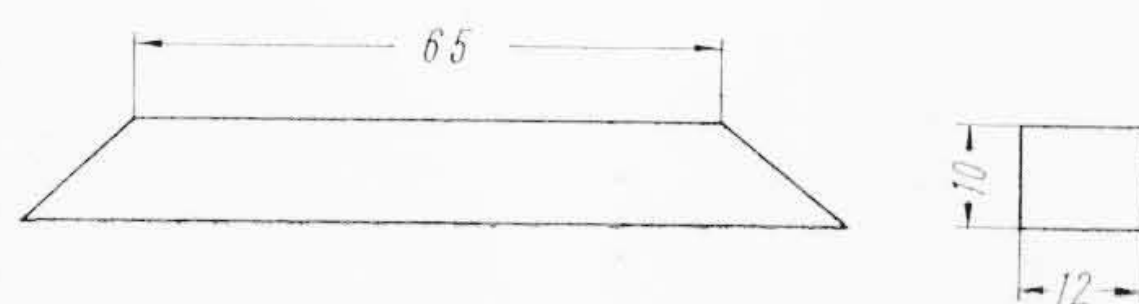
この試験ではセグメントおよび刷子の重量変化を求めることは困

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所水戸工場

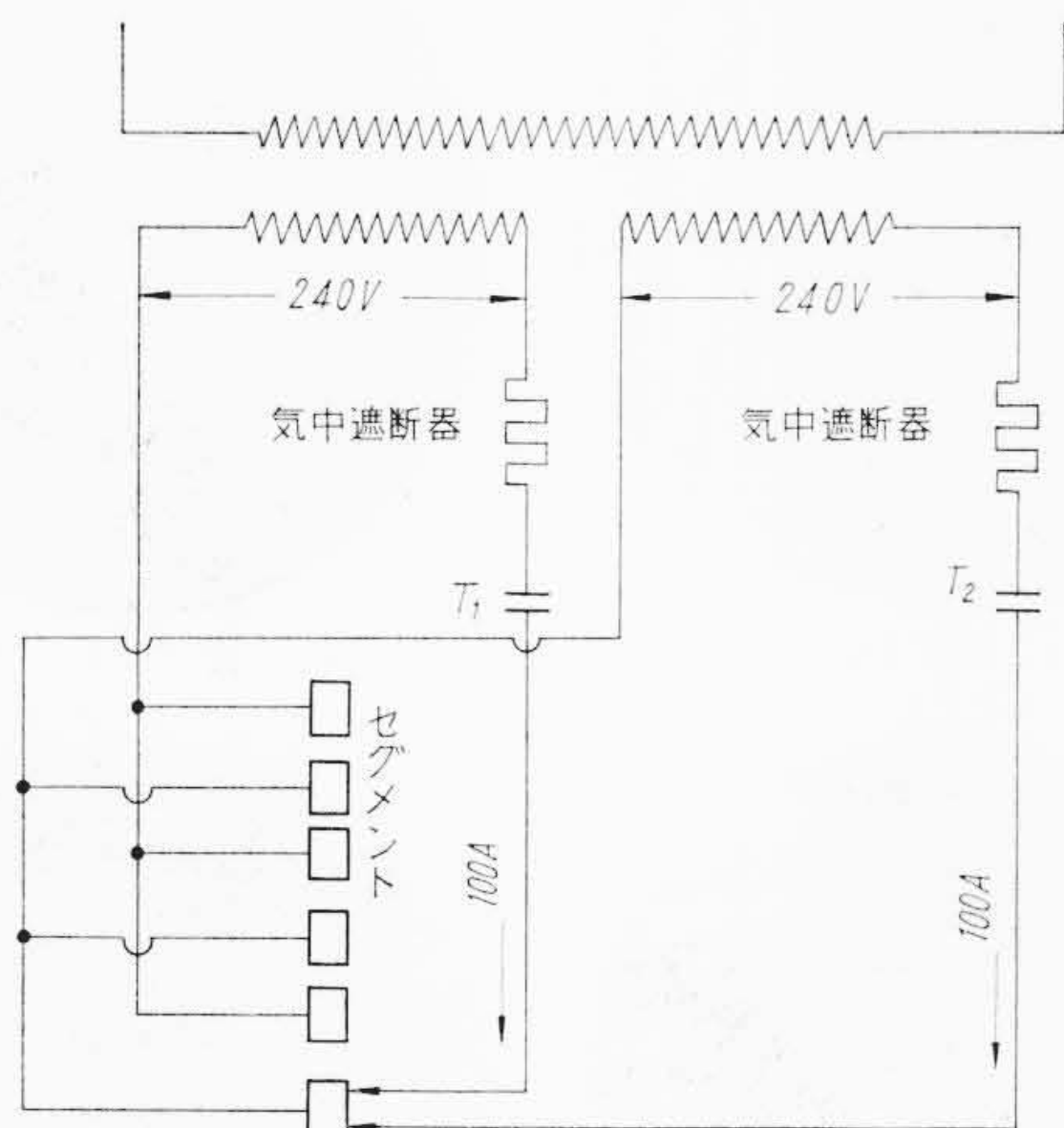


(A) 固定試験片



(B) しゅう動試験片

第3図 試験片寸法 (mm)



第4図 タップ切換器試験用回路

難であったので、それらの表面のあらさの変化を調べたほか刷子の長さの減少を測定する程度にとどめた。

3. 供 試 材 料

3.1 接触子材料に必要な基本的性質

常時数百Aの電流を通じて温度上昇が小さく、かつ油中とはいえ接触子表面に酸化、硫化などの変質を起こさないことが要求されるから、材料の成分はかなり限定される。第1表に数種の金属の導電率を示したが、この中で鉄は最も抵抗が高く冷却の十分効く環境でないとは不安である。従来機械的なしゅう動摩擦に耐える鋼の研究は積み重ねられているが純鉄より一層導電性が悪いから不都合である。

また一般に接触抵抗の大きいこと、不安定なことは好ましくない。これは接触圧力、材料の固有抵抗、かたさあるいは弾性係数に支配されるもので、これが高かったり不安定な場合は局部的な温度上昇、

第1表 接触子材料の物理的性質 (20°C)

種 類	電気比抵抗 ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	導 電 率 (IACS%)	か た さ (Hv)	
			軟 質	硬 質 (30%冷間加工)
Cu	1.67	103	51	110
Ag	1.50	115	26	—
W	5.5	35	255 (焼結)	480 (スエージ)
黄銅	6.2~6.4	27~28	55	130
純鉄	9.7	17.7	70	140

第2表 供試合金の組成と製法

(a) フェロカップ（銅鉄合金）

記 号	組 成 (%)		か た さ (R _B)	製 法	導 電 率 (%)
	Fe	Cu			
FC-2	80	20	86.6	鋳造	13
FC-4	60	40	75.2	鋳造	19
FC-6	40	60	61.0	鋳造	26
FC-8	20	80	45.8	鋳造	32
FC-8F	20	80	56.0	鍛造	34

(b) Ag-WおよびCu-W焼結合金

記 号	組 成	か た さ R _B	導電率 (%)
WC	Cu 30, W 70	90	46
WA	Ag 28, W 72	88	50

(c) Al青銅およびMn青銅

No.	名 称	分 析 成 分 (%)						組 織	導電率 (%)
		Al	Mn	Fe	Ni	Zn	Cu		
1	Al青銅	5.90	—	0.15	—	—	残	α	14.4
2	Al青銅	9.84	1.05	3.98	1.38	—	残	$\alpha+\beta$	—
3	Mn青銅	—	9.66	—	—	—	残	α	—
4	Mn青銅	0.37	0.84	0.67	0.36	残	63.74	$\alpha+\beta$	14.3

(d) その他の材料

材 料	符 号	組 成 (%)						か た さ R _B	備 考
		Cu	Fe	Sn	Ni	黒鉛	Ag		
含油メタル	K 1	83	4.5	10.5	—	2.0	—	45~55	含油率5.0Vol%
	K 2	73	12.5	9.0	3.0	2.5	—	45~55	含油率6.0Vol%
銀・黒鉛	AG 2	5.65	—	—	—	5	88.35		

したがってときには化学的变化をも促すことになる。

次に、しゅう動接触をなす1対の材料を同一物質で作ると異常摩耗（かじり）を生じやすいことはすでに常識となっている。銅と銅を組み合わせることは手近な方法であるがはなはだ拙劣で、同種の銅合金の組み合わせも一般に好ましくない。

本報告では接触面積の大きな方に純銅を用いることとし、刷子にあたる材料はよりかたいものを選ぶ方針をとった。たとえばAg-W、Cu-W、Fe-Cu合金などである。これらは二つの金属の混合組織体であるので導電率は第1表中の当該2種金属の中間の値をもっている。

3.2 供 試 合 金

硬銅を相手とする接触子材料として第2表(a)~(d)に示す合計14種の合金を調製した。これらを試験片とするに当り、Ag-WおよびCu-Wはチップを作り台金にろう付する形とした。なお銅合金の中で耐摩耗性がよいといわれるAl青銅およびMn青銅を溶製したが、 α 相だけのものが好適か、 $\alpha+\beta$ の二相組織がすぐれているかは従来議論のあったところなので、それぞれ2種類を作製した。

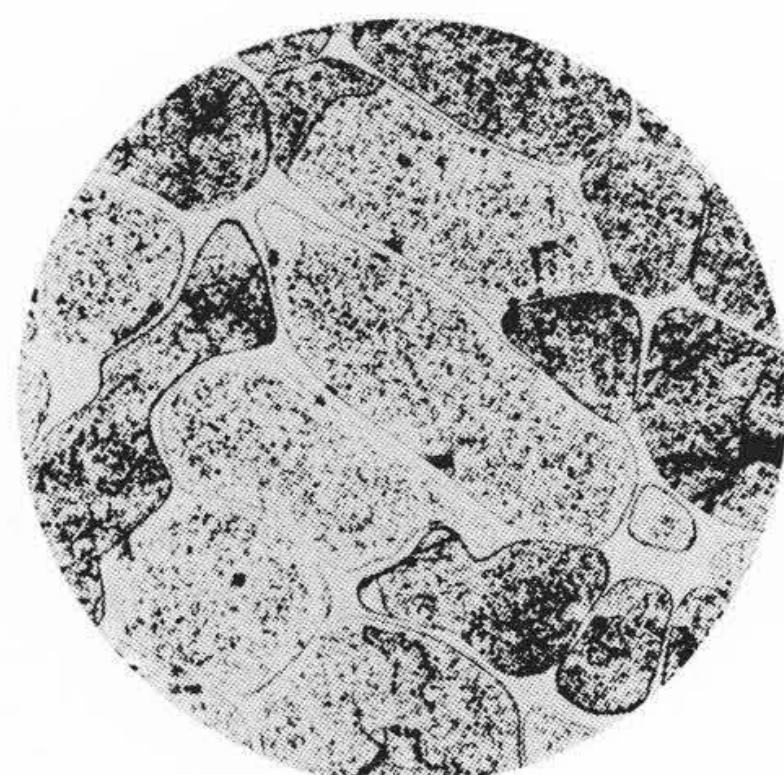
3.3 フェロカップについて

第2表の試料中市販にないフェロカップについて一言しよう。銅鉄合金は古くから研究されたにもかかわらず偏析や巣が発生しやすいので、工業化に成功したという実例はほとんどない。日立製作所では溶解および鋳造法を究明した結果製法を確立し、各種成分比のものの鋳造品の製作ならびに銅含有量の高い組成の合金の鍛造圧延に成功した。本合金の顕微鏡組織は第5図にみられるように、鋳

造材では鉄の相が樹状晶をなして発達し、その間を銅相が埋めている。鉄の粒子といっても銅を若干固溶したものであり、またこれらの結晶粒の大きさは凝固速度によってかなり変化する。鍛造により樹状晶は破壊され FC-8F の組織にみられるように鉄の粒子が展延されることがわかる。

このような、硬軟二相より成る組織の材料が、銅を相手として、

しゅう動するとき、軟かい銅相は凹所をなしてそこに油を保持し、凸所を形成する鉄相は異質の相手材（銅）と接触することとなり、同質材料のしゅう動によるかじり現象から免かれることができる、



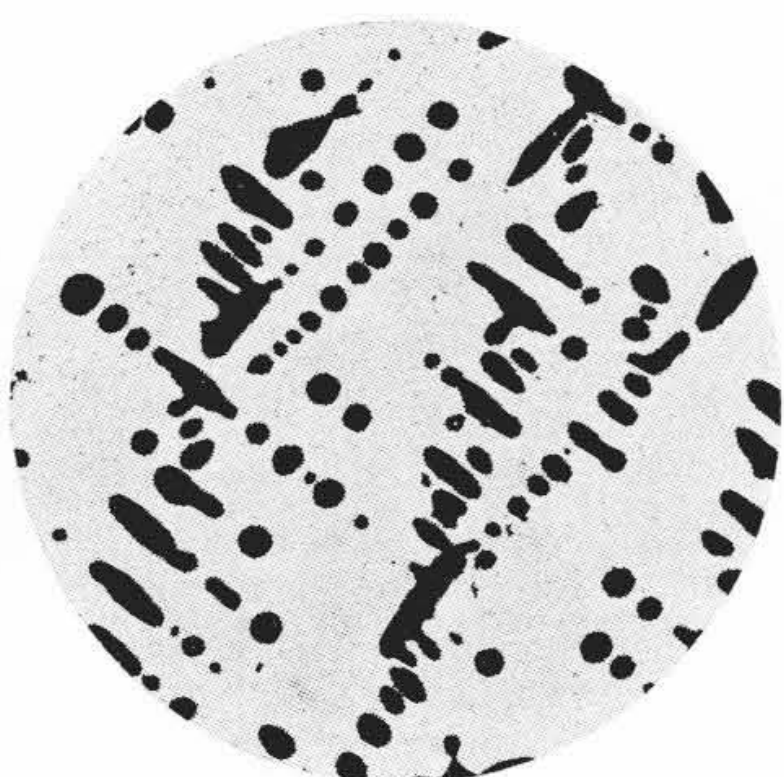
FC-2 鑄造



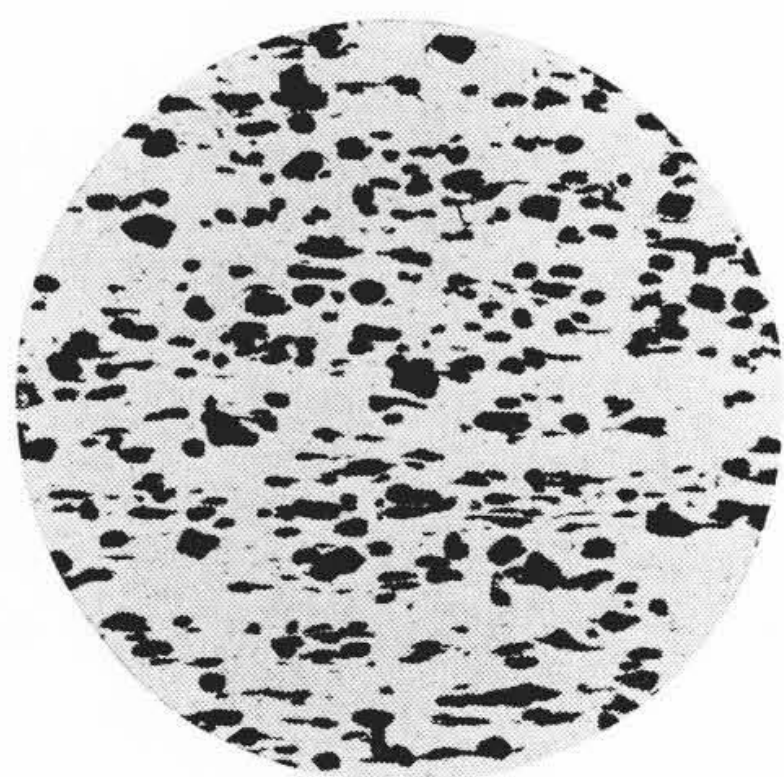
FC-4 鑄造



FC-6 鑄造

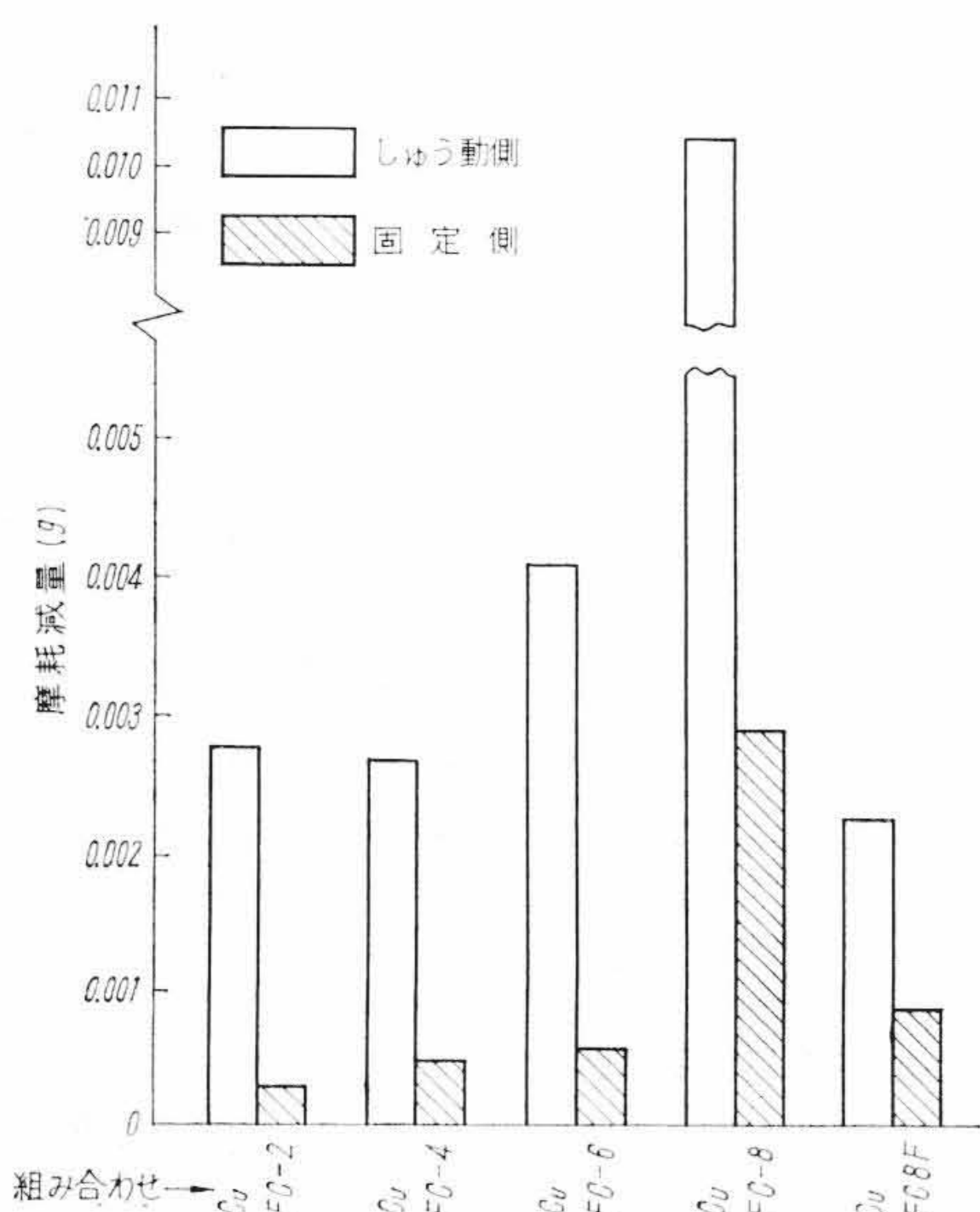


FC-8 鑄造



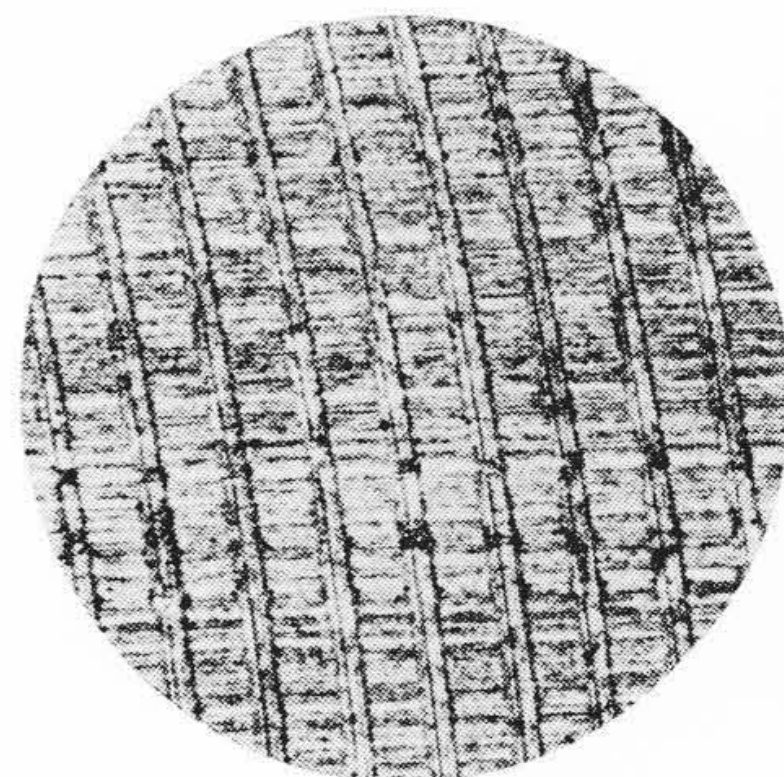
FC-8-F 鍛造

ピクリン酸アルコール溶液にて腐食
第5図 フェロカップの顕微鏡組織 (×60)

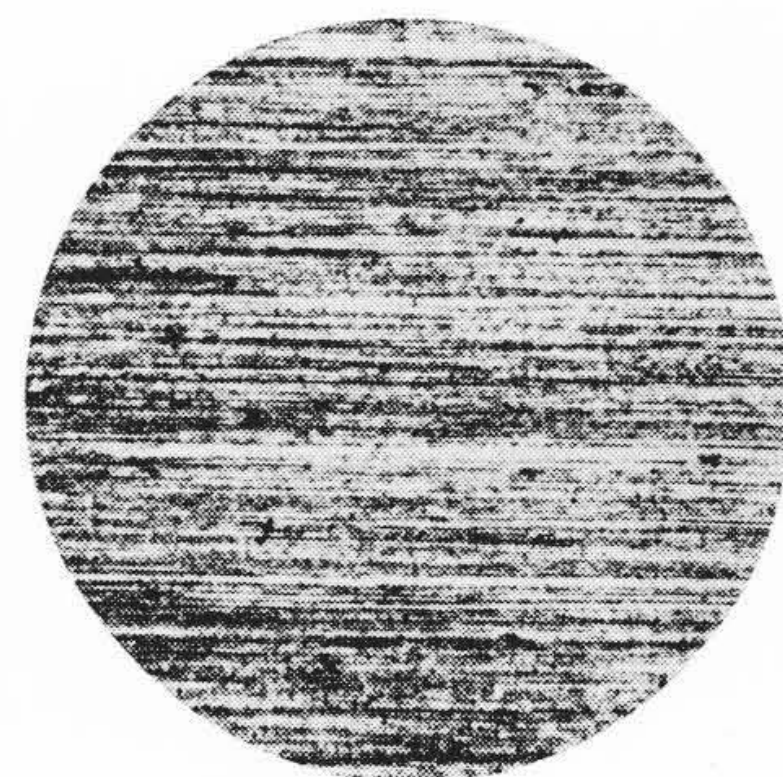


荷重 8.2 kg/cm², しゅう動回数 10,000 回

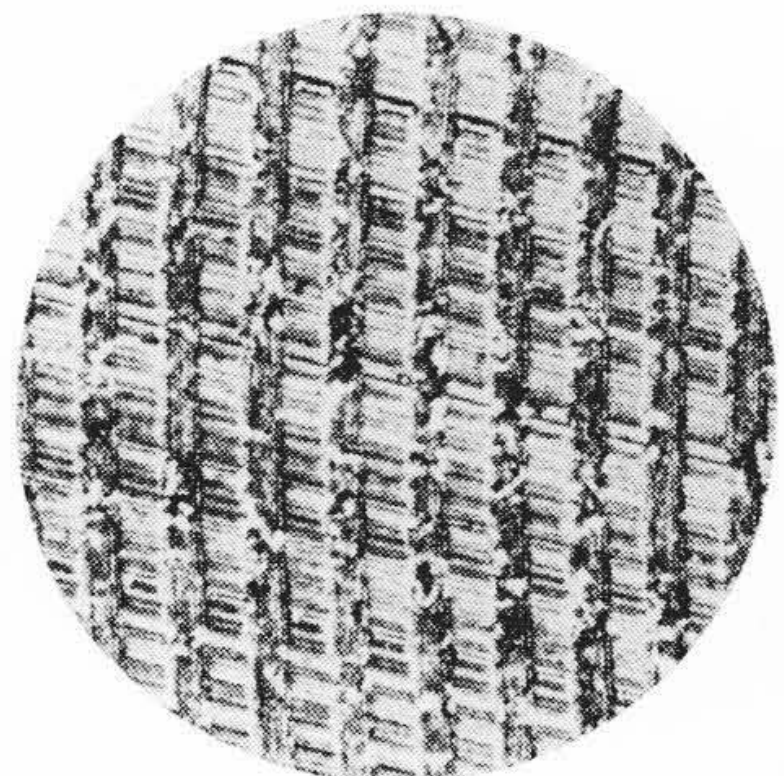
第6図 水平しゅう動試験結果



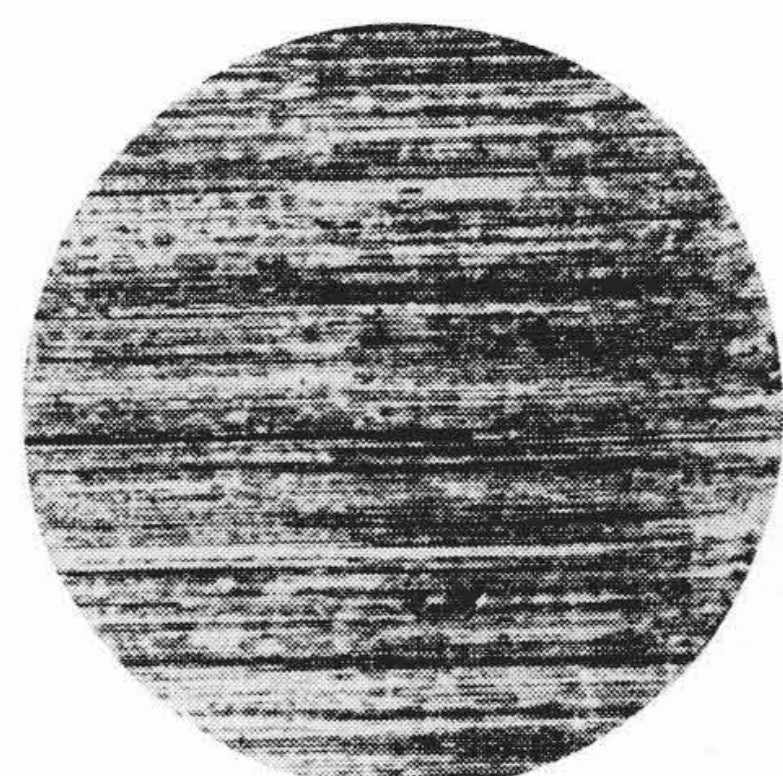
しゅう動側 Cu (×20)



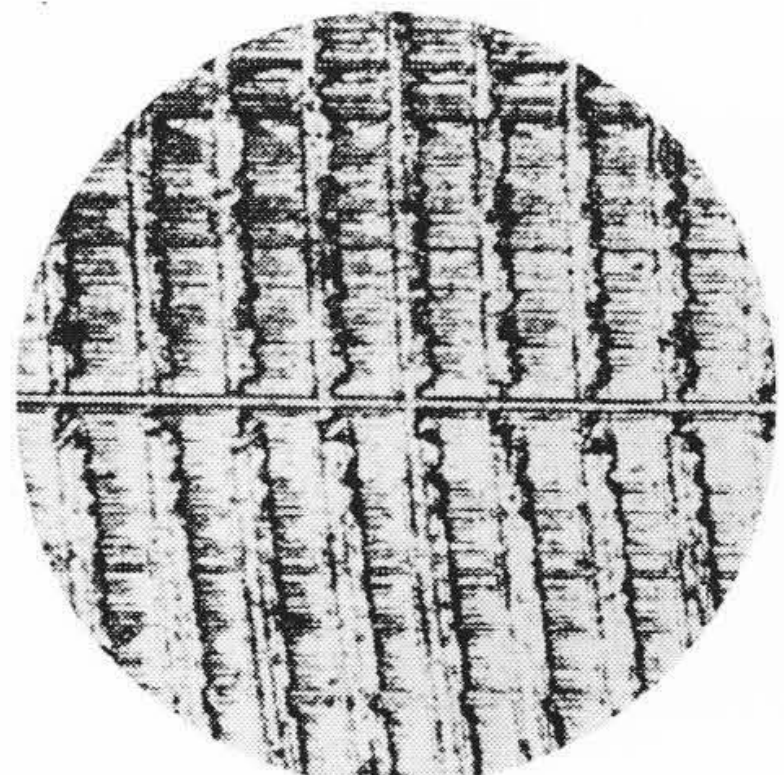
固定側 FC-2 (×20)



しゅう動側 Cu (×20)



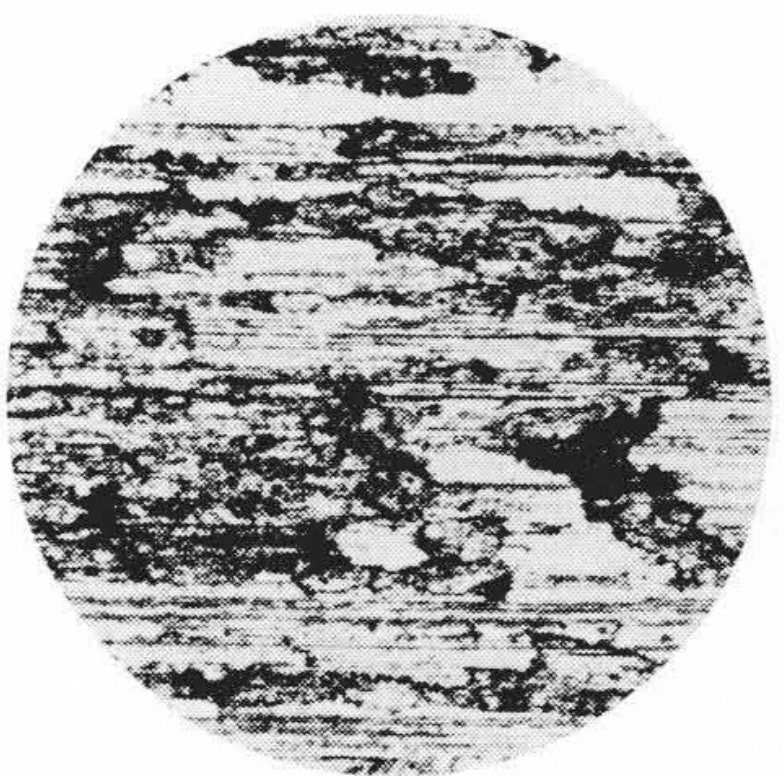
固定側 FC-4 (×20)



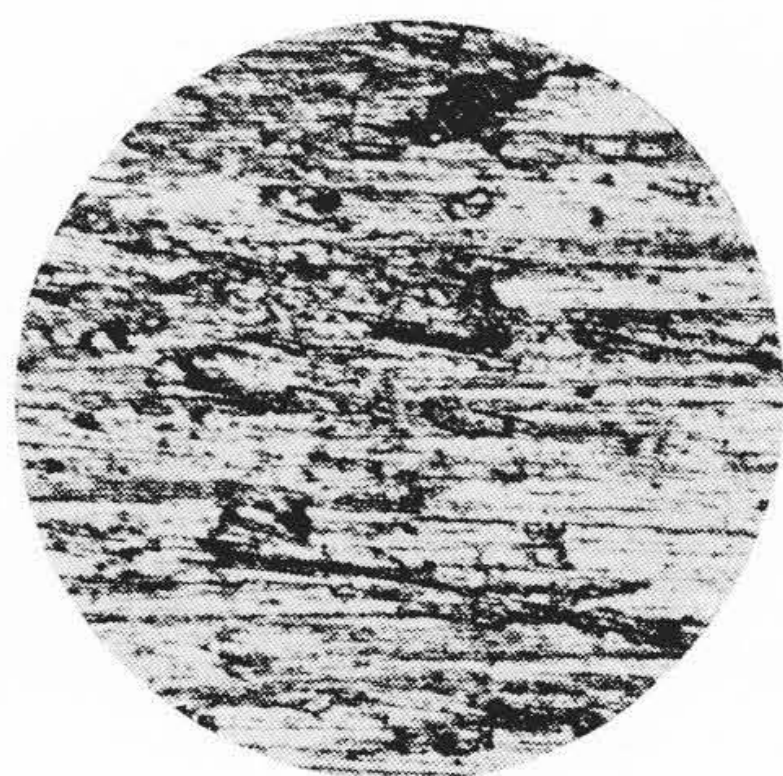
しゅう動側 Cu (×20)



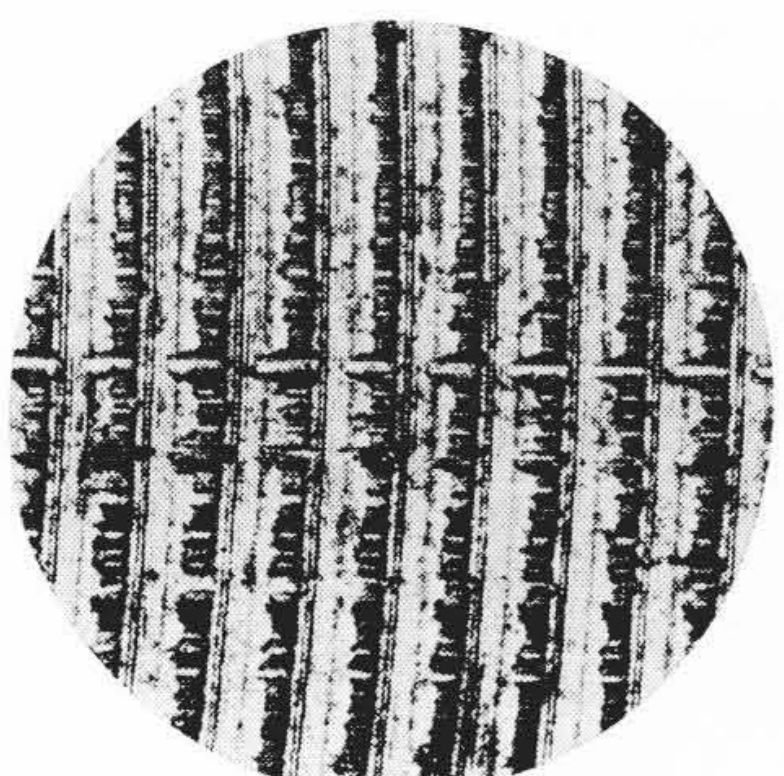
固定側 FC-6 (×20)



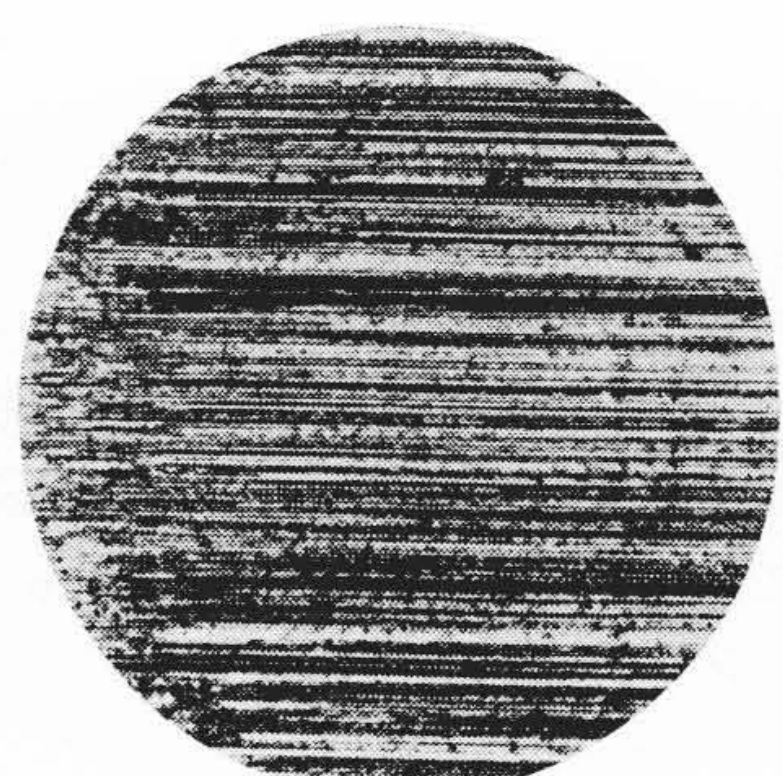
しゅう動側 Cu (×20)



固定側 FC-8 (×20)



しゅう動側 Cu (×20)



固定側 FC-8-F (×20)

第7図 試験後の摩耗面の状況写真

第3表 水平往復しゅう動試験結果

Cu: Cu (面圧 1.0 kg/cm²)

材 質		摩 耗 量 (g)		摩耗後の面のあらさ		評 価
しゅう動側	固定側	しゅう動側	固定側	しゅう動側	固定側	
CuH	CuC	0.0035	0.0070	11S	15S	×
CuH	CuH	0.0001 (相手材付着)	0.0050	8S	7S	×

注: 試験前の面は鏡面仕上げ

第4表 水平往復しゅう動試験結果

FC群: Cu, 焼結合金: Cu (面圧 8.3 kg/cm²)

固定側材質	製造法	摩 耗 量 (g)		摩耗後の面のあらさ		評 価
		しゅう動側 (Cu)	固 定 側	しゅう動側	固 定 側	
FC-2	鋳造	0.0028	0.0003	3S	6S	◎
FC-4	鋳造	0.0027	0.0005	3S	6S	◎
FC-6	鋳造	0.0041	0.0006	3S	8S	◎
FC-8	鋳造	0.0105	0.0029	10S	5S	×
FC-8F	鍛造	0.0023	0.0009	5S	4S	○
Ag-W	焼結	0.0108	0.0015	3S	4S	○
Cu-W	焼結	0.0072	増量0.0036	3S	4S	○

注: (1) 試験前の面のあらさ しゅう動側 たて1S以下, よこ約20S
固 定 側 1S以下

(2) 評価 ◎ 優秀, ○ 良, × かじり

と想像される。同様にAg-W, Cu-Wのような焼結合金も, 銅板と直接接触するのはW粒子であってCuとWとは固溶度をもたないから溶着, 圧着の現象が起こらない⁽¹⁾ので好都合と考えられる。なお銅鉄合金は熱処理によってかたさを加減することができる。

4. 試 験 結 果

4.1 フェロカップーおよびAg-W, Cu-Wの水平しゅう動試験

2.1に述べた摩耗試験法により, フェロカップー5種類をそれぞれ固定側に用い, 可動側に硬銅板を使用して油中しゅう動試験を行った。ウェイトは5kgしたがって単位面積当りの圧力は8.2 kg/cm²である。1万回の往復しゅう動による重量減を求めた結果が第6図である。これからわかるように, フェロカップーの中ではCu含有量の少ないものが, それ自体も, また相手材も, 摩耗量が小さくなるという傾向がみられる。また鋳造材よりは鍛造材の方が好結果を示すことも認められる。これらの試料のしゅう動試験後の面を拡大してみたものが第7図である。これから知られるように, 摩耗量の大きかった組み合わせでは面が荒れており, 良好な組み合わせでは試験後にも最初の仕上面の凹凸が残っている。

次に比較のため銅:銅の組み合わせで, より低い圧力(1.0kg/cm²)で試験した結果を第3表に示す。この場合の表面の荒れは著しく, 圧力を高めると再現性ある測定値が得られないほどかじりを生ずる。

また第4表には, 焼結合金と比較したフェロカップーの摩耗試験結果を示す。これからみるとAg-WおよびCu-WはFC-6またはFC-8Fと同程度の成績であり, これらより一段すぐれた耐摩耗性をもつのがフェロカップーFC-2またはFC-4であると判定される。

さらに, 面圧の大小により摩耗量がどう変るかを念のため調べた。第8図から面圧を47 kg/cm²に高めた結果, 銅板の摩耗量は増加するがFC-4の摩耗量はほとんど増加しないことが知られた。

4.2 実用試験結果

高圧タップ切換器を使用し, 3万回往復しゅう動通電試験を行なった結果の刷子の長さ変化とセグメント面の荒れ状況を観察した。面の荒れについては定性的な判定のほか触針式のあらさ計による拡大写真の比較を行なった。

第5表 刷子の摩耗量

(単位 mm)

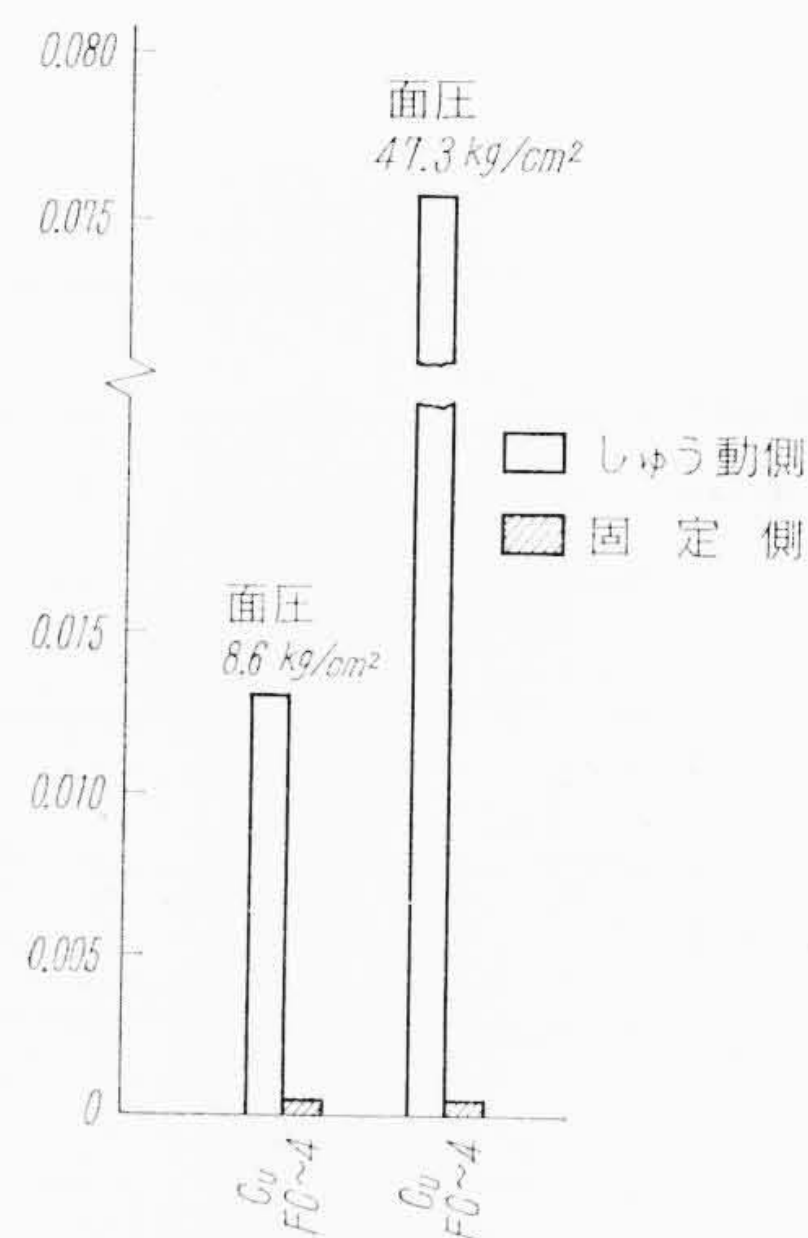
試料記号	バネ圧力 5 kg	バネ圧力 2 kg
FC-2	0.006	—
FC-4	0.004	0.003
FC-6	0.013	0.002
FC-8F	0.007	0.009
Cu-W	0.009	0.003
Ag-W	0.007	0.005
α Al 青銅	0.159*	—
α+β Al 青銅	0.029	—
α Mn 青銅	0.009	—
α+β Mn 青銅	0.024	—
K-1	0.007	—
K-2	0.006	—
AG-2	0.06	0.027

* かじりによる突起を生ず

第6表 セグメントの

摩耗状況判定結果

刷子材料	バネ圧力 5 kg	バネ圧力 2 kg
FC-2	◎	◎
FC-4	◎	◎
FC-6	◎	◎
FC-8F	◎	◎
Cu-W	○	◎
Ag-W	○	◎
α Al 青銅	×	×
α+β Al 青銅	×	×
α Mn 青銅	○	○
α+β Mn 青銅	×	○
K-1	×	×
K-2	×	×
AG-2	×	×



FC-4 (鋳造のまま)と銅と組み合わせ

第8図 面圧を変えた水平しゅう動試験

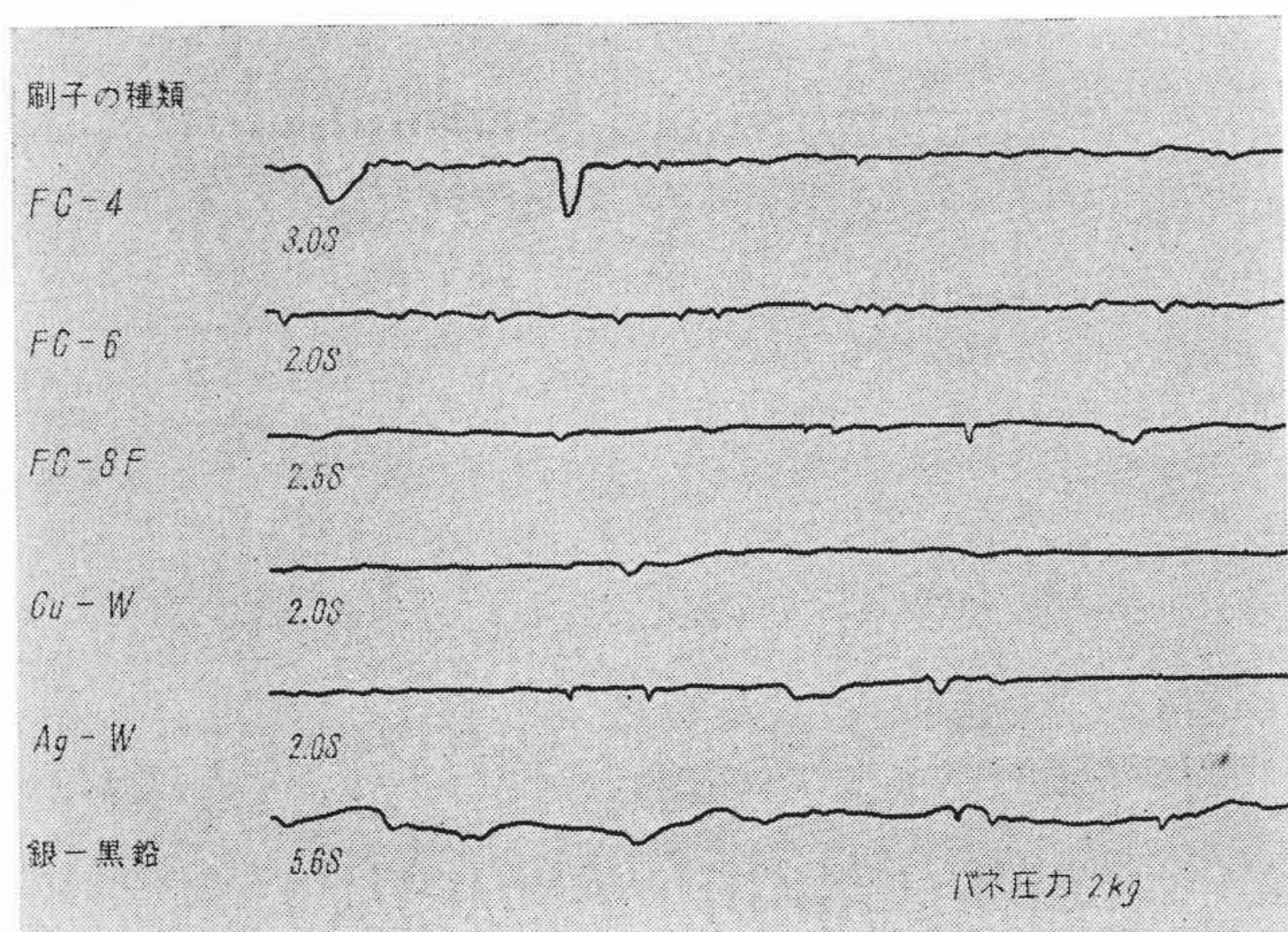
4.2.1 刷子の摩耗量

第5表は試験前後の刷子の長さの差を求めた結果であって, 試料2個ずつにつき各2個所測定し平均を記す。これからわかるように, バネ圧力の大小にかかわらずCu 20~60%のフェロカップーが最も摩耗が小さく, Ag-WそしてCu-Wがこれらに次ぐ。このことは先の水平しゅう動試験の成績ときわめてよく一致している。含油メタルも比較的摩耗が小さい。しかし青銅系合金および銀黒鉛接点材は著しく摩耗しており, かじりによる突起もみられ寸法変化量にもばらつきが大きいことが知られた。

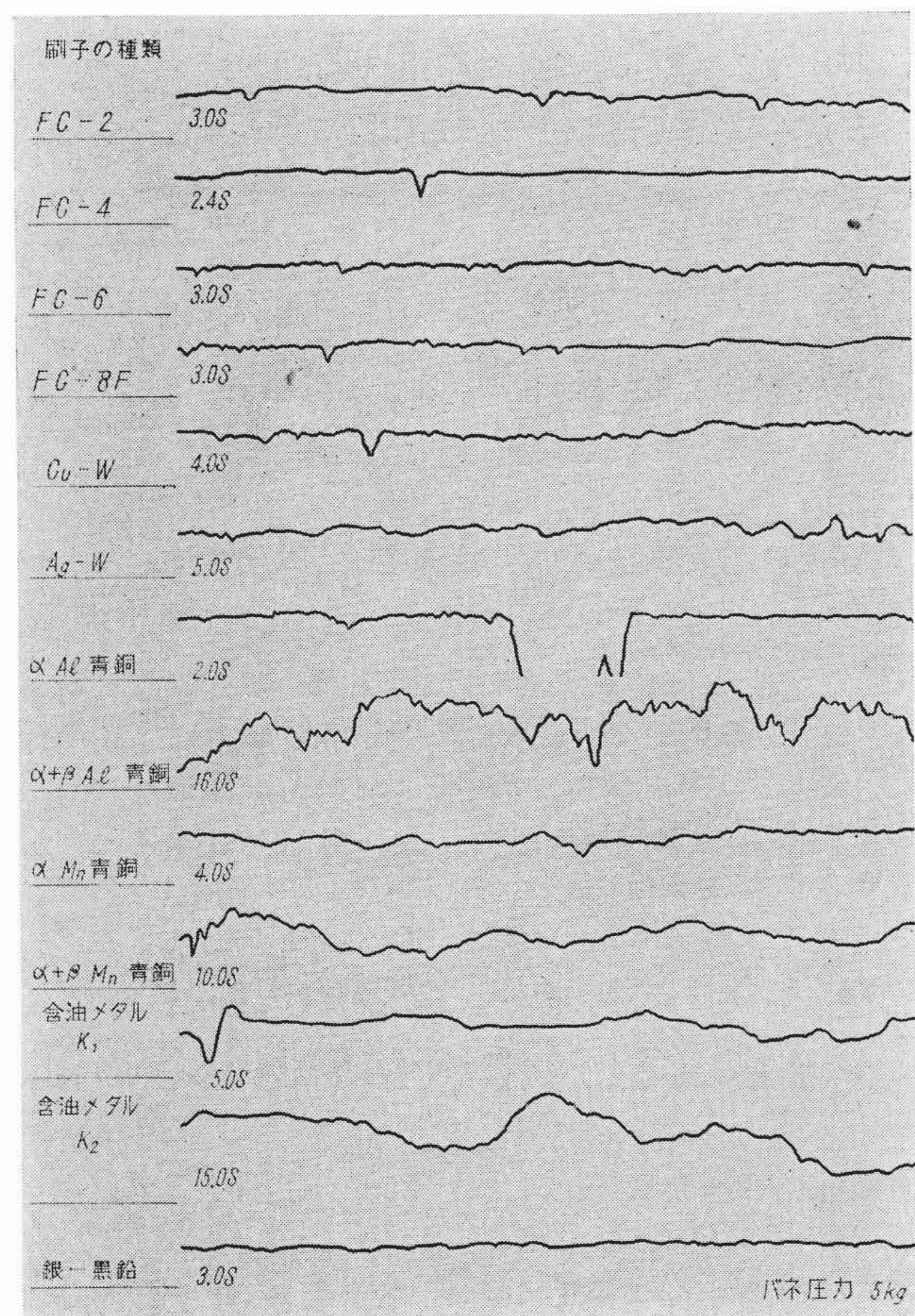
4.2.2 セグメントの摩耗状況

上記の各刷子材に対応するセグメント銅板の荒れの状態は, バネ圧力5kgおよび2kgのおおのおおの場合について, ◎……最も摩耗の少ないもの, ○……比較的摩耗の少ないもの, ×……条痕(こん)多く摩耗大なるもの, の3段階の評点を与えた。その結果は第6表のとおりである。

次に試験後の銅セグメント面の表面あらさを実測した結果を比較図示したものが第9図である。図の横方向が50倍, 縦方向が500倍に拡大されたものである。なお測定圧は1.9gである。面のあらさは定性的判定結果とほぼ一致しており, フェロカップーFC-4に対向したセグメントが最も平滑な面を維持している。フェロカップー群についてCu-WまたはAg-Wが条痕を与える程度が少ないことがわかる。そして含油メタルK-1およびK-2はそれ自体の摩耗は少なかったがセグメントを荒損させる点でこの種の接触子には向かないことがわかった。その他の材料はかたさの大小にかかわらず銅板の摩耗をうながすのでまず問題にならない。



第 9 図 (a) 通電しゅう動試験後の銅セグメントの表面あらさ



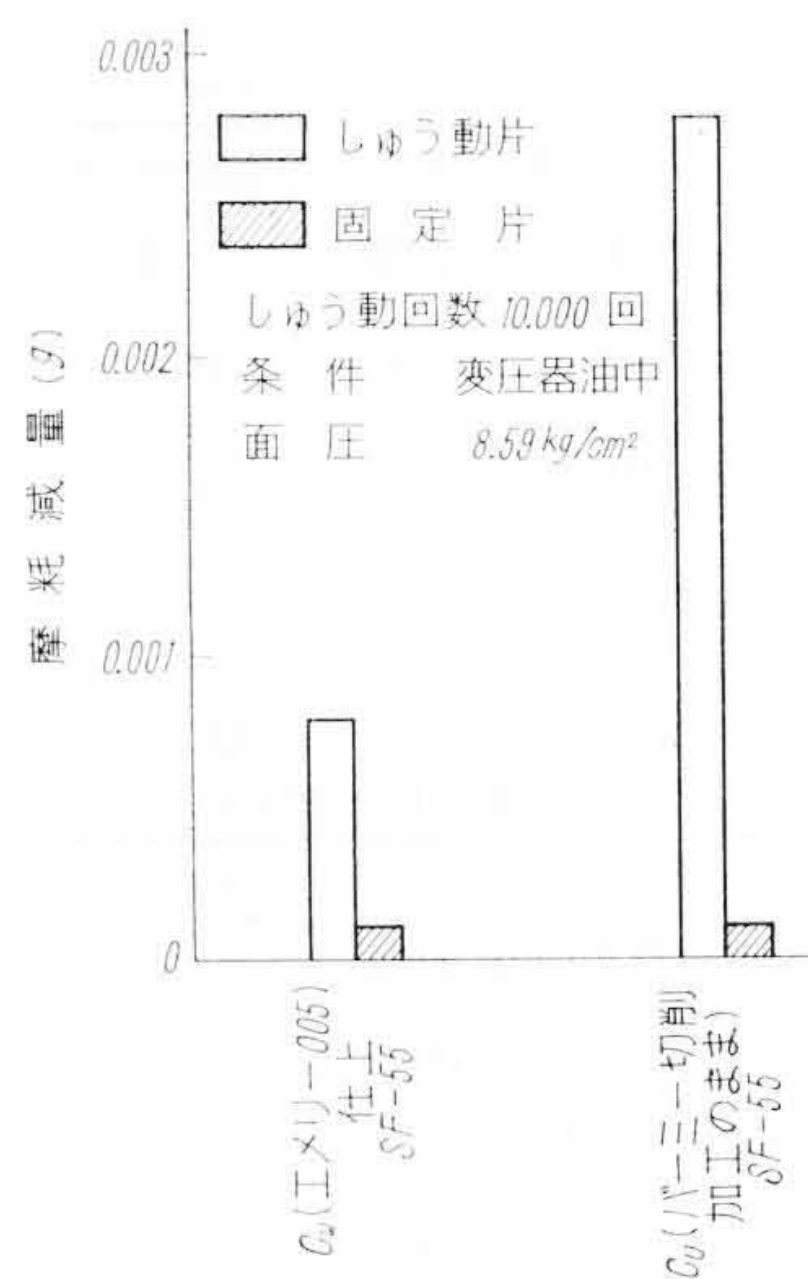
第 9 図 (b) 通電しゅう動試験後の銅セグメントの表面あらさ

4.3 ま と め

以上の結果から明らかなように、成分系の異なった 2 種の材料を組み合わせ油中通電しゅう動を行なう場合に、銅とはかなり硬度差のある、Fe または W を主成分とする接触子材料が、自らも耐摩耗性を示し、また相手材を傷める傾向もごく小さいことがわかった。そして Fe 60%、Cu 40% の鋳造材が本研究の範囲内で最良の材質であることが知られた。

5. 考 察

純鉄あるいは純タングステンの、銅板に対する摩耗試験は上述の実用的条件では行なわなかったが、無通電のしゅう動試験を炭素鋼と銅板の組み合わせで行なったところでは別に悪い結果は生じな



第 10 図 SF-55 と硬銅とのしゅう動摩耗試験結果

った。第 10 図はその一例を示したもので、SF-55 と銅板とのしゅう動による摩耗の絶対値は両者の取り付けが完全でガタがない限りではきわめて小さい。しかし図で明らかなように、銅面の仕上程度が非常に影響しているので、しゅう動摩耗の研究を行なうには試料表面状況や接触する二面の平行度が重要な因子であることを銘記しなければならない。

実際に多数のセグメントを配列した機器においては、全部の銅板表面に対して刷子が初めから理想的な面接触を保つことは不可能と考えられ、線接触状態のものになじみ運転を行なっているうちに面接触に移行していくものと思われる。

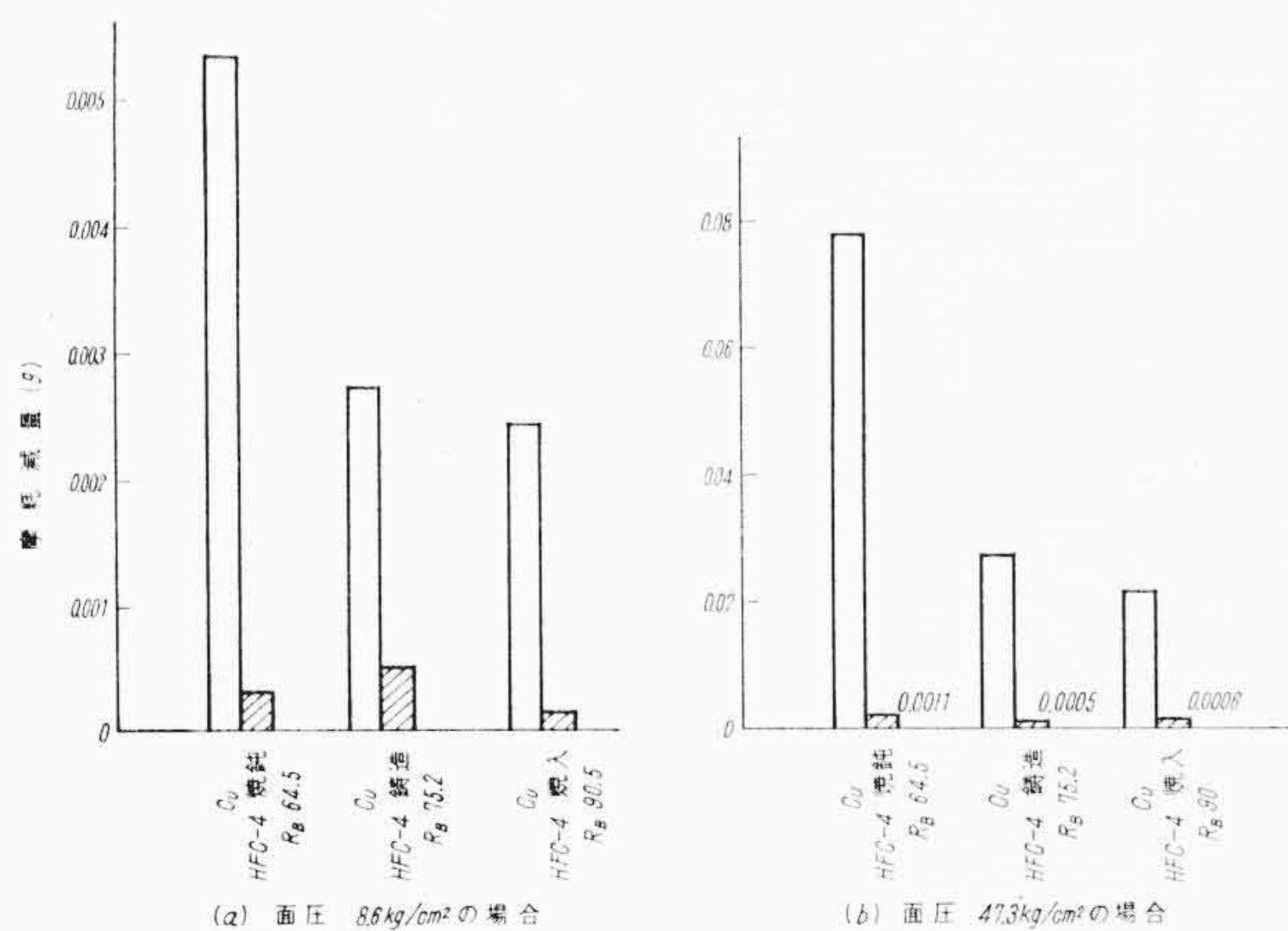
この「なじみ状態の達成」ということであるが、単に一方の金属が軟らかくて相手材によりそぎとられるのでは危険である。それは発生した粉末が面間にはさまったり、母材にめりこんだりしてますます摩耗を促進する結果になりうるからである。

次に無視することのできないのは接触抵抗の問題である。二つの材料の仕上げが工作記号の上でいかに良好であっても、顕微鏡的には凹凸ある二面の接触であるから、点接触の個所がいくつかあるにすぎない。球面接触のモデルで示された Hertz の法則から容易に類推できることであるが、一定の接触力により生ずる真の接触面積は弾性係数の小さい材料の方が大きい。フェロカップー FC-8 の弾性係数は $13.9 \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^2$ (筆者らの実測値)、純鉄では $20.1 \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^2$ 、タングステンでは $35.2 \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^2$ であることから、この 3 者の中ではフェロカップーが一定圧力下の接触面積が最も大きくなり、したがって接触部に通電する場合のジュール熱は小さいであろうと思われる。周囲の油により接触子の大部分が冷却されるとはいえ、停止状態での通電中に点接触局所の微小部分は高温となり、2 金属の拡散接着が起こりうると考えられ、次の瞬間の両者のしゅう動の際に一方の金属が他方の金属粒子をむしり取ってかじり現象のきっかけを作ることが想像できる。この傾向は完全に固溶度をもたぬ異種金属の間では少ないと考えられる⁽¹⁾。なお接触子自体の固有抵抗については第 1 表に示したように W、フェロカップー、純鉄の順に大きくなっているが、一般に接触抵抗に基づく境界部のジュール熱に比べて接触子内部の固有抵抗による発熱はさほど大きくはない。

結局、大電流のしゅう動通電材料としては軟かい良導電性金属を適量混えた複合組織体がいよことがほぼ納得されよう。

次に、フェロカップー FC-4 を使用する場合に、これを熱処理することにより一層改善ができないかという点につき検討したい。

FC-4 鋳造材を 950°C より水冷したものおよび 800°C で焼鈍し完



第 11 図 油中しゅう動試験による熱処理の影響
および摩擦量

全軟化させたものを摩耗試験し、鋳造のままの試料と比較した。第 7 表にロックウェルかたさならびにマイクロビッカース硬度計による銅相および鉄相のかたさの各平均値を示しておく。なお上記の熱処理により顕微鏡組織上の差異は特にみられなかった。各試料を 2.1 の方法により 1 万回の往復しゅう動試験を行なった結果が第 11 図である。すなわち FC-4 自体の摩耗量には大差がないが、相手の Cu を摩耗させる点では焼鈍材が劣り、むしろ鋳造のままあるいは水冷処理したものの方が好ましいことが知られる。この現象は興味あることで、常識的には焼鈍軟化したものの方が相手を傷めないと考えられがちであるが、本結果はそれと反対の傾向を示している。このことをさらに詳細に考察すると、焼入れ温度において銅が最大限(約 8%)固溶した鉄相の粒子は急冷の結果相当かたくなっているが、銅相はいわゆる溶体化処理が行なわれたことになりかえって軟かくなっている。すなわち第 7 表からわかるように硬軟二相のかたさの差は焼入れにより顕著になり、焼鈍すれば逆に差が小さくなるのである。硬軟二相より成る材料の耐摩耗性については軸受の場合によく知られているとおりであるが、その硬度差が大きいことは前述のなじみと接触抵抗の考えかたと結びつけて考えるとき実用上い

第 7 表 FC-4 の熱処理条件とかたさ

熱処理条件	冷却方法	かたさ R_B	マイクロビッカースかたさ (25g)	
			Cu 相	Fe 相
鋳造のまま	—	75.2	181	285
800℃×2時間焼鈍	炉冷	64.5	184	250
950℃×2時間焼入	水冷	90.5	140	327

っそう有利であると説明できる。なお熱処理ということは、実際鋳造材の品質を揃える意味でも大切である。

最後に付け加えたいことは、本実験は油中に浸漬した接触子片の運動による消耗量を求めたものであるが、接触子間に少量の油を供給する方式についてもこの結果があてはまることは容易に理解されよう。

6. 結 言

強電機器に使用される油中接触子として導電性のよい合金 10 余種を調製し、硬銅を相手とするしゅう動摩耗試験を行なった。結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) 銅鉄合金が最も耐摩耗性がすぐれ、相手材に摩耗傷痕を与えない点でも優秀である。この群について銅タングステン、銀タングステンなどの焼結合金がよい。
- (2) 鋳造銅鉄合金としては Fe 40~60%, Cu 60~40% の組成が好ましいが、なお鍛造および熱処理によって改善できる余地がある。

本合金は比較的安価であり、接触子チップを合金にろう接して使用するような必要はない。

- (3) 材質をとわず一般に工作履歴が消耗量に与える影響は大きい。

本研究の遂行に当りご指導をいただいた日立製作所日立研究所小野博士、ならびに実験に協力された戸田主任ほか関係各位に深謝の意を表わす。

参 考 文 献

- (1) Goodzeit: Materials in Design Engineering, 105 (1958)

第 24 巻 日 立 第 11 号

目 次

- ・こわいでんき.....岸 輝子
- ・大形変圧器の技術革新
- ・電子の眼 CdS 素子登場す“日立光導電素子のはなし”
- ・八幡製鉄所戸畑製造所の無線操縦クレーン
- ・レー ル ガ ス 圧 接 車
- ・プ ラ ズ マ ジ ェ ッ ト 装 置
- ・合成樹脂をいかす三つの新しい化学素材

- ・電線百話「ネズミはなぜ電線をかじる」
- ・新しい照明施設「日立が照らす夢のかけ橋」
- ・明日への道標「マンモス都市東京への送水に活躍する 1,350 kW 上水道ポンプ」
- ・日立ハイライト「あたたかい冬を生み出す日立的暖房用製品」
- ・日 立 だ よ り

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地
振替口座 東京 71824 番

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地
振替口座 東京 20018 番