強電用 Cu-W-Co および Cu-WC-Co 接点合金の特性

竹内久祐* 富田貞美* 大沢真人**

Hisasuke Takeuchi, Sadami Tomita and Makoto Ohsawa: Characteristics of Cu-W-Co and Cu-WC-Co Contact Alloys for Heavy Current Applications. In order to develop new electrical contact materials, sintered Cu-W-Co and Cu-WC-Co alloys were prepared, and their life tests were carried out using a modified ASTM type testing apparatus at AC 105 V, 50 A. The results showed that the higher cobalt content gave a smaller weight loss, a lower contact resistance and a larger welding tendency as expressed by the number of welds formed. Especially in Cu-WC-Co alloys, these characteristics were remarkable and the contact resistance maintained a very low value.

Assuming that the above-stated features depended mainly on the properties of Cu-Co matrix, contact specimens of binary cast Cu-Co alloys were prepared and tested. The addition of cobalt gave an appreciable effect on the electrical contact characteristics of copper, i.e., the lowering of contact resistance and an increase of welding number were observed. These results were in good agreement with those for the sintered ternary alloys.

(Received October 22, 1966)

I. 緒 言

中電流および大電流開閉用の接点として従来 Cu-W, Ag-W, Ag-WC あるいは Ag-CdO などの合金が使用され

ており、通常 Cu-W は油中用、Ag-W は気中用に適するものといわれる⁽¹⁾。Cu-W は空気中でアーク熱により酸化

* 株式会社日立製作所 日立研究所 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd., Hitachi)

** 日立化成工業株式会社桜川工場 (Sakuragawa Works, Hitachi Chemical Co. Ltd., Hitachi)

(1) ASM: *Metals Handbook*, 8th Edition (1961), 801~816.

し接触抵抗を増大するので非酸化性雰囲気中の使用が望ましく、その場合に消耗が少ないことが特長となるものである。他方 Ag-W は成分の W の酸化をある程度に押えることができれば Ag の特長である安定した電気接触状態を保ち得る。このことが気中しや断器などに利用される根拠となつている。Ag-WC は Ag-W より後に開発されたもので、成分中の WC は酸化に対して W より一段と安定な性質をもち、使用中接触抵抗の低いことが特徴である。

著者らは、強電用気中開閉接触器の電流量増大の傾向に鑑み、従来の材料よりも消耗の少ない接点を開発する目的で Cu-W-Co 合金およびその W を WC で置換えたものを焼結により作製した。これらの気中における接点特性を別報に述べた ASTM 型接点試験機⁽²⁾により判定した結果、Co を含まない Cu-W, Cu-WC および Ag-W 系統の合金に比べて顕著な接点性能の向上を示すことがわかつた。以下その内容を報告する。

II. 試 料

実験に用いた試料の配合組成ならびに焼結材の物理的性質を Table 1 に示す。実験は主として Cu-W および Cu-

Table 1 Nominal composition and physical properties of specimens.

Specimen No.	Alloy	Density (g/cm ³)	Elec. conductivity (IACS%)	Hardness HR _B
1	33%Cu-W	14.21	51.3	97.7
2	22%Cu-5%Ni-W	14.81	20.3	90.8
3	24%Cu-1%Co-W	15.29	23.6	96.9
4	25%Cu-3%Co-W	15.01	24.1	97.3
5	27%Cu-5%Co-W	14.39	22.6	97.6
6	25%Cu-7%Co-W	14.48	23.1	98.5
7	27%Cu-10%Co-W	14.11	21.5	98.8
8	43%Cu-WC	11.74	39.5	104.4
9	41%Cu-3%Co-WC	11.94	18.7	111.1
10	39%Cu-10%Co-WC	12.09	15.0	110.7
11	33%Ag-W	14.50	55.0	87.0
12	60%Ag-WC	11.97	55.3	76.4

Table 2 Characteristics of electrical contact materials tested.

No.	Alloy	Weight loss (mg)	Contact resistance (mΩ)	Number of welds	Welding strength (g)		
					min.	max.	mean value
1	Cu-W	80.1	102.3	692	330	810	480
2	Cu-W-Ni	48.4	108.8	508	370	770	520
3	Cu-W-Co (1)	46.9	87.7	1363	345	780	500
4	Cu-W-Co (3)	46.6	29.1	1400	360	820	550
5	Cu-W-Co (5)	30.3	11.4	1240	360	890	610
6	Cu-W-Co (7)	37.2	8.2	1649	375	920	647
7	Cu-W-Co (10)	28.0	3.6	1364	390	920	568
8	Cu-WC	33.6	4.4	1216	335	920	467
9	Cu-WC-Co (3)	17.9	1.7	3166	365	920	536
10	Cu-WC-Co (10)	11.9	2.1	2593	400	940	511
11	Ag-W	102.1	158.3	34	270	750	523
12	Ag-WC	48.5	44.1	58	280	645	430

Test voltage A.C. 105 V, Test current 50 A, Closing force 400 g, Opening force 200 g, Closing and opening speed 3.8 cm/s

WC 系について行なつたが比較のために Cu-W-Ni, Ag-W

(2) 竹内, 大畠: 本誌, 31 (1967), 274.

などの試料も加えた。

試料はいわゆる溶浸法により調製した。この場合に Co を添加した W 粉または WC 粉に Cu または Ag 粉を少量混合して焼結しておき、残っている空孔に対し Cu または Ag の地金を溶浸する方法を採つた。使用した W および WC 粉末は平均粒径約 3 μ である。また最初にこれらに混合した Ag および Cu 粉は、Ag が 325 mesh 以下のもの、Cu 粉は 2 次粒子が約 5 μ 程度の最も微細な電解粉である。成形体の予備焼結を水素中で 1200°C, 1 hr 行ない、溶浸は 1,200°C で行なつた。

III. ASTM 型 接 点 試 験 機 に よ る 接 点 特 性

試験片は別報⁽²⁾に述べた形状すなわち直径 6 mm の円板状に加工したもので銅製ボルトにロウ付された。固定側は平面、可動側は球面接点である。

接点の試験条件としては A.C 105 V, 50 A とし、接点接触圧力 400 g, 開離力 200 g を採用、開離速度は 3.8 cm/s, 開離頻度は 60 回/min である。

開離回数 3 万回までの消耗量、接触抵抗 (平均値) およびその間に起つた溶着の回数と溶着力とを求めた。結果は 3 対の接点試料について測定した値を平均して Table 2 にまとめた。表の合金組成中カッコ内に記した数字は Co % を意味する。(以後の図表も同様)

開離回数が増すにつれて接触抵抗がどのように変化するかを示したものが Fig. 1 である。測定値は 5000 回ごとにプロットした。Co を添加しない材料は開離回数の増加につれ接触抵抗の増加が著しいが、Co 添加材は増加の傾向がゆるやかである。とくに Cu-WC-Co では接触抵抗の増加が少なく、終りまで 1~2 mΩ の低値を維持しており、このことは Co および WC がともに効果をあらわしたものと考えられ注目すべき結果である。

つぎに Fig. 2 に開離回数と溶着回数との関係を示す。

この図からわかるように、Cu-W 系よりは Cu-WC 系の方が、またそのいずれの場合も Co 含有量が多いものの方が

溶着を頻繁に起している。しかし溶着力は Table 2 に記したように平均値 600 g 程度、最大 1000 g 程度であつて、

たので、つぎに考察のための実験として Cu-Co 2 元合金の性質を調べた。

Fig.1 Relation between contact resistance and number of operations.

とくに強固な溶着は起きていない。

供試合金の消耗量は表に示したように Cu-W-Co 系では Co が増すにつれて次第に小さくなつており、Cu-WC-Co 系では一層小さくなつていゝ。消耗量と接触抵抗の小さい点を活用するならば Cu-W-Co (5~10%) および Cu-W-Co (3~10%) が好適である。なお接点表面の外観をみると、Co を含むものほど表面の異変の程度が軽く、低い接触抵抗維持の性質を裏づけている。

このように Co の含有量が著しく接点特性を変化させているが、この Co は Cu の matrix 中に存在すると考えられ

Fig.2 Relation between number of welds and number of operations.

IV. Cu-Co 合金の接点特性

電解銅および粒状コバルトを原料とし高周波炉により、Co 1, 3, 5, 10, 15 および 20% の Cu-Co 合金を大気中で溶解した。脱酸剤に少量の P を使用した。鍛造後切削して前章と同じ型の接点試験片を製作した。これらの ASTM 型試験機による接点特性を Table 3 に示す。試験電流は A.C. 20 A, 30 A および 40 A の 3 段階に変えたが試験条件は前章と同じく、印加電圧 105 V, 接点接触圧力 400 g, 接点開離力 200 g, 開閉頻度 60 回/min, 開閉速度 3.8 cm/s で

Table 3 Characteristics of Cu-Co alloys as electrical contacts.

Test alloys	Co (%)	Test current (A)	Weight loss (mg)	Contact resistance (mΩ)	Number of welds	Welding strength (g) (mean value)
Pure Cu	0	20	25.6	129.4		Incomplete contact happened
"	"	30	32.6	144.3	8	260~620 (423)
"	"	40	79.8	101.5	117	270~750 (443)
Cu-Co (1)	1	30	35.1	4.37	116	290~750 (443)
"	"	40	57.2	1.38	861	290~760 (453)
Cu-Co (3)	3	20	24.9	5.10	18	260~810 (441)
"	"	30	38.1	2.07	483	360~880 (448)
"	"	40	55.5	1.20	970	285~900 (460)
Cu-Co (5)	5	20	24.8	2.35	77	210~690 (426)
"	"	30	35.4	1.82	877	300~780 (467)
"	"	40	49.7	1.03	1595	280~830 (495)
Cu-Co (10)	10	20	16.6	1.51	317	210~625 (423)
"	"	30	22.9	1.00	1475	260~790 (445)
"	"	40	24.9	0.86	2388	300~810 (478)
Cu-Co (15)	15	20	16.1	2.83	755	240~940 (458)
"	"	30	19.1	1.26	1580	315~960 (460)
"	"	40	20.7	0.83	2736	315~965 (500)
Cu-Co (20)	20	20	15.7	3.03	796	230~710 (445)
"	"	30	15.0	1.22	1570	280~855 (475)
"	"	40	14.0	0.84	2809	310~910 (503)

ある。

Fig.3 は 20 A 通電の場合を一例として開閉回数 ととも

が多くなるほど消耗量が減ずるが、同時に溶着回数が増すの

Fig.3 Relation between contact resistance and number of operations on Cu-Co alloys.

Fig.4 Effect of Co content on contact resistance of Cu-Co alloys after 30,000 cycle operations.

に上昇する接触抵抗値をプロットしたもので、これから Cu-Co 合金は純 Cu に比べて接触抵抗の増加がゆるやかであることがわかる。横軸に Co 量をとって接触抵抗 (3 万回試験後の値) を示したものが Fig.4 である。図から、Co 量 10% ぐらいでその効果が飽和し、それ以上に加えてもあまり変わらないことが知られる。同様に消耗量と Co 量との関係を調べた結果が Fig.5 である。さらに溶着回数と Co 量との関係をプロットしたものが Fig.6 である。Co 量

Fig.5 Effect of Co content on weight loss of Cu-Co alloys after 30,000 cycle operations.

Fig.6 Effect of Co content on number of welds of Cu-Co alloys after 30,000 cycle operations.

かように、Cu-Co 2 元合金においても Co の添加は消耗量を少なくし接触抵抗を低くする効果が明らかであるが、一方溶着回数を多くする事実も認められた。この溶着現象および消耗が開閉試験中のどの時点で起るかを観察するため on, off のみの試験を行なった。方法は別報⁽²⁾で説明したのと似ており、Fig.7 (a) に示すように開閉の時刻をずらせた 3 組の接点を並列に接続する。そして同図 (b) のように No.1 (on のみ) および No.3 (off のみ) を供試 Cu-Co 合金とし、No.2 を補助 Ag 接点として開閉を繰返させる。また図 (c) のように No.1 および No.3 を補助接点として No.2 を on, off なし (ジュール熱のみ与えられる通電) の接点特性試験ができる。

Table 4 は Cu-5% Co 合金の on のみまたは off のみの試験で得られる消耗量などの測定結果を示す。on のみおよび on off なしの試験では接点の消耗は非常に小さく、

off のみの試験による消耗量は格段に大きい。そして off のみの試験では動作回数 5000 回付近から導通不良が起る

蓄積がゆつくりしているために導通不良までの回数が多いと説明される。

Fig. 7 Method of testing to which the duties of "on only" and "off only" are given.

Table 4 Result of "On only" or "Off only" test on Cu-5%Co alloy after 30,000 cycle operations.

Duty	Weight loss (mg)	Contact resistance (mΩ)	Number of welds	Remarks
On only	0.3	1.6	0	
Without on and off	0.1	4.0	"	
Off only	15.6	5~∞	"	Have not conduct after 5000 cycles

Test condition: A.C. 105 V 20 A, resistive load, Opening force 200 g, Closing force 400 g, Closing (Opening) speed 3.8 cm/s

ようになり、以後不導通回数が増した。以上の結果から、一般にいわれるように開離時にアークによる金属の蒸発が消耗の主たる内容であることがわかる。5%Co を含む Cu-Co 合金ではすべての場合溶着が起らなかったが、さらに Co を増すと off のみの試験でも溶着がみられるようになり、Cu-10% 合金では3万回の開閉中3回、Cu-20%Co 合金では14回溶着した。このことは Co 量を増すとともに材料の耐酸化性が改善される一方、接点の耐溶着性が悪くなることを意味している。すなわち金属の表面が清浄に保たれていれば金属同志は高温で接合され溶着という現象を示すが、接点間に酸化層を介すると溶着を起しにくいと考えられる。

off のみの接点試験では電流の開閉を伴った普通の寿命試験の場合よりも接触抵抗の増加が甚しいことは Table 4 に示したとおりであるが、さらに Fig. 8 では Co 添加量を変えたときに、最初に導通不能を起すまでの開閉回数を調べた結果を載せた。Co 量が多ければそれだけ酸化層の

Fig. 8 Number of operations until the first failure of conductance happened on various Cu-Co alloy contacts.

V. 考 察

一般に開閉接点において、通電電流が大きいときは接点表面がアーク熱によつて酸化あるいは熔融するため消耗は増すが、接触抵抗を大きくするような表面層は形成されない。開閉する電流値がある値より小さいときはアーク熱による消耗は少ないが接点表面の酸化層が累積して接触抵抗

が増すと考えられる。これらのことは Fig. 4~6 の結果に示されている。Cu に Co を添加すると Fig. 9 に示すよう

Fig. 9 Electrical conductivity and hardness of Cu-Co alloys. (as cast)

に硬さは増すと同時に導電率は著しく低下する。それにもかかわらず Cu-Co 合金の接触抵抗が Cu のそれに比べて低い事実は接点の接触抵抗が表面層の性質あるいは状態に依

存すること示している。すなわち、Cu に Co を添加すると金属の耐酸化性が増し、ジュール熱およびアーク熱による接点表面の酸化が行なわれにくくなり、酸化物の累積が生じ難いものと解される。金属面が清浄であるほど溶着は生じやすいので Cu-Co が Cu に比べて溶着傾向が大であることも理解される。

Cu-Co 2 元合金それ自体を接点材料として使用することが本研究の目的ではなかつたが、従来純銅を用いている開閉器類や接触器に Cu-Co 合金を適用することが考えられるほど Co 添加の効果が顕著である⁽³⁾。そして、Cu-Co-W または Cu-Co-WC 3 元合金の接点性能 (Table 2, Fig. 1, Fig. 2) が Co 含有量により著しく変化すること、それら試料の接触抵抗、消耗および溶着特性が Cu-Co 2 元合金での傾向と非常によく一致することを考えると Co を溶解した Cu の相が大きな役割を果たしているように考えられる。なお 3 元系における W または WC 相は、大きなアーク熱の集中を受けた場合に耐消耗性を示す効果をもつものと思われる。

ここで Co が Cu とでなく WC と結合した形を想定できないことはないが、しかし本実験試料は超硬質合金の粒子を Cu を結合相として焼結したごときものではなく、焼結温度 1200°C において Cu は配合した Co 粒の大部分を溶解する。この温度は WC と Co とで液相を生ずる温度よりも低い。また Co を含む試料の色は matrix となる部分が Co

の量の増加とともに白味を帯びている。

Co の効果については以上の説明ができるが 2 元合金の場合の Cu: Co の比率の適値を 3 元合金における配合にあてはめて Co: Cu: W (WC) を決定するにはまだデータが十分ではない。これは接点性能は非常に多種の因子に左右され、高融点金属の量やその化学的性質、接触面における残存状態に大きく影響されるからである。実用に役立てる組成としては Table 1 における Co 3~10% のもの、とくに Cu~50%WC-10%Co が有用とみられる。

VI. 結 言

焼結接点材である Cu-W-Co および Cu-WC-Co 合金を製作し、ASTM 試験機による 50 A 開閉試験の結果、これらは Co を含めぬ同系統合金に比べ消耗量が小さく、また低い接触抵抗を維持する特色ある材料であることが知られた。また Ag-W, Ag-WC 系接点に比べても上記の特長は明らかであつた。しかし溶着傾向に関しては Cu-W-Co および Cu-WC-Co 合金は不利であり、とくに Co 量の多いものほどこの傾向が著しかった。

最後に、Cu-WC-Co 材は溶着の点に問題を残し、今後改善を図る必要を感じるが、溶着は、接触力または開離力を増すことにより設計的に解決し得る事柄である。

終りに本研究遂行に当り御協力いただいた日立化成工業小室哲夫君、日立研究所大内弘之君に感謝の意を表わす。

(3) 竹内、大内：特許第 454975 号 (昭 40)。