$$\begin{cases} L \frac{d(i_1+i_2)}{dt} + \frac{1}{C_1} \int^t (i_1+i_2) dt + iR = E \dots (1) \\ i_1 R - \frac{1}{C_2} \int^t i_2 dt = 0 \dots (2) \end{cases}$$

この方程式を解くために

$Q_2 = C_2 R \frac{dQ_1}{dt}$, $Q_1 - C_1 E = Q$ と置くと

$$\frac{d^3 Q}{dt^3} + \frac{1}{C_2 R} \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{L} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C_1 C_2 R L} = 0 \dots (3)$$

を得る。この方程式を吟味することによつて種々の場合を類推することが出来るであらうが、簡単のために臨界抵抗を與へた場合をとつてみることにする。これは復元後の再時効で硬さが一定になり、その後は時間を充分かけてもあまり変化はないので、現象論的に見ると臨界抵抗を與へた場合によく似たものが起り易いからである。

臨界抵抗の條件は $C_1 = 8C_2$, $L/C_2 R = (3/2)^3$ で與へられるので、これ等を(3)に入れて解くと一般解として

$$Q = (K_0 + K_1 t + K_2 t^2) e^{-t/C_2 R} \dots (4)$$

を得る。初期條件として $t=0$ で $Q=0$, $dQ/dt=0$, $L \frac{d^2 Q}{dt^2} + LC_2 R \frac{d^3 Q}{dt^3} + E = 0$ を與へる。これは時効後の復元を考へるのであるから、ある程度の核の生成が起つて了つた後、換言すれば $Q_1 - C_1 E = Q$ であるから、 Q_1 がある値を既にもつてゐる状態を意味し、これから出發することになるのである。かくすると $K_0 = K_1 = 0$, $K_2 = E/2L$ であるから

$$Q = \frac{E}{2L} t^2 e^{-t/3C_2 R}$$

従つて

$$Q_2 = C_2 R \frac{dQ_1}{dt} = \frac{ERC_2}{2L} \left(1 - \frac{t}{3C_2 R} \right) e^{-\frac{t}{3C_2 R}} \dots (5)$$

を得る。この曲線の形は第8圖のやうになる。初期條件として既に時効したもの、換言すれば Q_1 がある値をもつてゐる状態から出發するのであり、且つ又 $t=0$ では電流即ち核の生成、消失は零であるから Q_2 の値はそれが正の時は Q_1 の減少、即ち核の消失、硬さの減少を意味する。従つて硬さの曲線は略々第8圖の逆のやうな形をとり大體に於て實驗的事實と一致する。

第 8 圖

次にこれの吟味であるが、曲線に見られる如く硬さの極大と極小が存在する。そして極大は

$$t_1 = 3C_2 R (2 - \sqrt{2}), \text{ 極小は}$$

$$t_2 = 3C_2 R (2 + \sqrt{2}) \text{ で起る。今 } 3C_2 R = \tau \text{ と}$$

置くと、これは緩和時間に相當するものになり、 $t_1 = 1.6\tau$, $t_2 = 3.4\tau$, 又 $t_2/t_1 = 2.2$ を得る。この値はデュラルミンなどの場合には今少し大きくなるやうであるが、大體に於て實驗的事實⁽¹¹⁾を表はすものと言へよう。Cは温度に逆比例するもの、Rは析出に對する抵抗であり、温度の増大は一般にこれ等の減少を伴ふので、緩和時間も當然減少する。従つて硬さの極大及び極小の現はれるまでの時間も自然短縮される筈であるが、この點は多くの實驗的事實がよく證する處である。

(11) 例へば朝倉、本誌、6 (1942), 156.

ニッケルを含まざる高力導電用銅合金の研究 (第3報)

Cu-Fe-P 合金を基とせる時効性銅合金に就いて*

小 西 芳 吉**

Y. Konishi : The Investigation into the Nickelless, High-Conductible and High-Strengthened Copper Alloys (3rd Report). The Aging Copper Alloys based on Cu-Fe-P Alloy. According to the 1st and 2nd reports, the present author investigated the changes of the mechanical properties, electrical conductivity and other properties in the most proper B3 Alloy (Fe 1.56%, P 0.46%, Cu Bal) by cold-working and heat-treatments. Thus, he could not obtain a bit of high strength, but obtain some extent of very

** 財團法人古河理化学研究所

* 昭和17年10月本會第12回富山大會に發表

high conductivity in Cu-Fe-P Alloy. Then, he added the elements, Si, Sn, Zn (each of them is under 1.0%), Ag (under 2.0%) and Cd (under 1.65%) to the B3 Alloy, and investigated the influence caused by the addition of those elements on the change of the mechanical properties, electrical conductivity and other properties. The result is that the B3 Alloy (2% Fe₂P-Cu Alloy) containing about 1% of Cd is the most useful of all such materials:— the tensile strength is 85~90 kg/mm² and the electrical conductivity 65~60%, if he applies a proper cold-working and heat-treatments to this alloy. Conclusively, it is suitable that the Cu-Ni-Si Alloy (Corson's Alloy) is replaced by this Cu-Fe₂P-Cd Alloy which has the better characteristics as a high-strengthened electrical conductor.

(Received July 14, 1943)

I. 緒 言

現在の時局下に於て、ニッケルの節約は本邦の資源的見地より極めて緊要な問題の一つである。著者は現在工業上最も有用なる Cu-Ni-Si 合金系所謂コルソン合金の代替材料を得んとし、ニッケルを鉄にて置換する目的で、鐵化合物を含有する時効性銅合金特に Cu-Fe-P 合金系に關する研究を行つた。その結果本合金系の時効硬化現象に關しては、既に第1報⁽¹⁾及び第2報⁽²⁾で記述したのであるが、本報ではこれ等の研究結果に基いて、最も興味ある Cu-Fe₂P 擬二元合金に就いて、加工と熱處理に依る性能の變化を調査研究し、更にこれに數種の補強元素を添加して、その影響を調査研究した結果を記述すると共に、特に Cd を含有するこの種の時効性銅合金の二三の性質に就いて報告する。

II. 文献並に研究の目的

導電材料の中でも架空用通信線又は送電線の如く、電氣的性質が僅か低くとも機械的強度が極めて大なることを必要とする場合には從來種々の合金が提唱されて居る。今その中で主なるものを大別すれば次の如くである。

- (i) Cu-Ag 合金系⁽³⁾ (Mg, Cd, Zr 等を含むもの)
- (ii) Cu-Cd 合金系⁽⁴⁾ (Zr, Zn, Sn, Fe 等を含むもの)
- (iii) Cu-Be 合金系⁽⁵⁾ (Co, Ni, Cr, Cr Be, Cr₂ Be, Al, Ag 等を含むもの)

(1), (2) 著者, 本誌, 7 (1943), 95.

(3) 西村, 酒井, 日本特許, No. 91546, 101632, 102076; 寒川, 古河電工, 2 (1935), 77; 岸野, 寒川, 日本特許, No. 106126; 岩田, 日本特許, No. 136978; P. H. Press, 日本特許, No. 125156.

(4) F. R. Hensel, E. I. Larsen, U. S. A. Pat. No. 2086329; 田邊, 小磯, 日本特許, No. 103642; 西村, 小松原, 日本特許, No. 101351; 鹽見, 三原, 日本特許, No. 90802; 吉田, 日本特許, No. 103981,

(5) T. S. Fullen, Metal Progress, 6 (1937), 51; F. G. Benford, General Electric Rev., 38 (1935), 297; Metal Ind., (Engl.), 49 (1936), 40; 稻村, 大橋, 鐵と鋼, 23 (1937), 11; R. H. Harrington, A. I. M. M. E., 759 (1936), Reichs Patent, Patenschrift, 634, 469 (1936), Deutsche Patenanmeldung, 783369; 岩瀬, 岡本, 日本特許, No. 137459; 142255; 岩瀬, 岡本, 本誌, 3 (1939), 405; 岡本, 4 (1940), 69; 103.

- (iv) Cu-Ni₂Si 合金系⁽⁶⁾ (Cd, Be, Ti, Ag 等を含むもの)

就中 Cu-Ag 合金系, Cu-Be 合金系, Cu-Ni₂Si 合金系等は何れも共通の性質として時効性を有することに注目すべきである。又 Cu-Cd 合金系に於ても新たに時効硬化要素ともなるべき元素を添加することに依つてその性質が改善せられる。斯くの如く高力導電用合金に於て時効硬化性の有無は重要な性質の一つである。

抑々、銅合金の導電性が良好なるためには添加元素が少量にして、而も合金組織から云へば化合物又は別種の固溶體として機械的に分散状態に在ることが適當である。即ち化合物又は別種の固溶體がなるべく純銅に近い組成のものを地質として、これに分散して居る時は導電性が良好にして、この意味から時効硬化性合金が最も有用なるものと考へる。然らば斯かる時効硬化性を發揮せしめるためには如何なる合金型が最も適當であるか、これを平衡状態圖より考察するに、先づ第一に溶質の溶媒に對する固溶溶解度が溫度の低下と共に次第に減少すること、即ち溫度による溶解度變化を有することが必要である。第二に異相の析出後に於て、溶媒が合金元素に對して極めて稀薄たる固溶體であることが望ましい。斯かる形式の合金としては Cu-Ni-Si 合金系, Cu-Ag 合金系, Cu-Cr-Be 合金系, Cu-Cr-Si 合金系⁽⁷⁾, Cu-Ni-P 合金系⁽⁸⁾, Cu-Fe-P 合金系等が挙げられる。就中 Cu-Fe-P 合金系は第1報及び第2報に於て詳記した如く極めて顯著な時効性を有し、従つて Cu-Ni-Si 合金の代替材料の研究として適材なりと考へた次第である。

III. Cu-Fe₂P 擬二元合金の加工並に熱處理に依る諸性質の變化

元來この種の時効性合金を工業的に製造する場合に於ては、常溫加工と熱處理とが最後の性質に重大なる影響

(6) M. G. Corson, Z. Metallk., 19 (1927), 370; Iron Age, 121 (1928), 1009; Rev. Met., 27 (1930), 83; B. W. Gonsen, L. R. Wert, Metals & Alloys, 5 (1934), 251; 本多, 日本特許, No. 124390.

(7) A. B. Kinzel, Metal Ind., (Engl.), 54 (1939), 539.

(8) D. K. Crampton, H. L. Burghoff, J. T. Stacy, Metal Techn., 7 (1940); 鹽見, 小野, 古河電工, 1 (1934), 62.

を齎らすものであるから、先づ Cu-Fe-P 合金に於て、最も有用である Cu-Fe₂P 擬二元合金に就いて調査研究せんとする。

(1) 実験試料の調製

実験試料としては第 1 報及び第 2 報に依る研究結果より考察して、代表的に B3 合金即ち Fe₂P 2% を含む合金を選定した。その化学的組成は Fe 1.56%, P 0.46%, Cu 残部にして、加工並に熱処理方法の組合せを大別して下記の 4 種類を選定した。

(i) A 処理 この処理は焼入後常温加工を施さずに焼戻す方法にして、主として本合金系の時効性を調査すると共に常温加工効果と中間焼戻又は焼鈍効果を考察する場合の基礎的資料を得る目的で行つたものである。即ち直径 2mm 線を 850° で 1 時間加熱して水中焼入し、これを 100~800° で各 1 時間焼戻しを行つた。

(ii) B 処理 この処理は焼入後常温加工してこれを焼戻す方法にして、常温加工効果を調査すると共に、加工後の焼戻しに依つて性能の改善を計る目的で行つたものである。即ち直径 13mm 荒曳線を 850° で 1 時間加熱して水中焼入し、これを常温加工にて直径 2mm 線となし、最後に 100~600° で各 1 時間焼戻しを行つた。

(iii) C 処理 この処理は B 処理に於ける常温加工の工程中に焼戻し処理を施す方法にして、所謂繰返し焼戻処理⁽⁹⁾ (Stage tempering treatment) とも謂ふべきもので、本邦に於てコルソン合金を導電材料として格段の発展を遂げしめた極めて有用な方法である。この処理も矢張り性能の改善を計る目的で行つたものであつて、B 処理に於ける常温加工の工程中直径 7mm で 550° 1 時間焼戻して直径 2.0mm 線に仕上げ、これを 100~600° で各 1 時間焼戻したるものを C1 処理とし、直径 9.0mm で 450° 1 時間焼戻して直径 2.0mm 線に仕上げ、これを 100~400° で各 1 時間焼戻したるものを C2 処理とした。

(iv) D 処理 この処理は焼入の代りに最初から焼鈍に依り化合物を十分に析出せしめて、これに低温焼鈍を繰返ししながら常温加工を施す方法にして、所謂低温焼鈍処理⁽¹⁰⁾ とも謂ふべきもので、特殊鋼線又は Cu-Cd 線に適用して極めて効果ある方法である。この処理も亦性能の改善を計る目的で行つたもので、常温加工の工程中直径 8mm, 5.5mm, 4mm, 2.9mm, 2.0mm で各 150°, 1 時間低温焼鈍せるものを D2 処理とし、繰返低温焼鈍処理効果を調査するため、8mm 以外何等の低温焼鈍を行はないものを D1 処理とした。

以上の処理に依つて製作した試料に就いて、電気的性質と機械的性質を調査して、本合金は高力導電用合金として果して工業上有用なりや否やを検討した。

(2) 実験結果

前記 B, C1, C2 処理に依つて得たる直径 2.0mm 線に就いて、最後の焼戻しに依る性能の變化を圖示すれば Fig. 1~4 の如くである。

Fig. 1 Properties of B3 Alloy by A treatment.

Fig. 2 Properties of B3 Alloy by B treatment.

先づ A 処理に就いて (Fig. 1 参照) 考察するに、抗張力の増加より見て本合金の焼戻硬化量は僅かであるが、寧ろ導電率の變化より見れば時効性極めて顯著である。次に B 処理に就いて (Fig. 2 参照) 考察するに、A 処理に比して加工硬化のため抗張力は最初から高く、導電率も亦常温加工に依つて析出現象が助長せられる結果として幾分高い値を示す。C1 処理に就いて (Fig. 3 参照) 考察

(9) 西村, 小松原, 日本特許, No. 89646.

(10) 石田, 川崎, 航研報告, 222; 226 (1941).

するに、抗張力は B 処理と略々同様なるも、導電率は中間焼戻処理に依り著しく高い。併し焼鈍効果大なるため抗張力の軟化が大きく、一方焼戻しに依る導電率の増加が比較的少ない。次に C2 処理に就いて(Fig. 4 参照)考察するに、C1 処理に比して導電率が低いが抗張力に於て遙かに高い値を示す。これは中間焼戻温度が低く而もこの焼戻後の常温加工率が大なるためである。

Fig. 3 Properties of B3 Alloy by C1 treatment.

Fig. 4 Properties of B3 Alloy by C2 treatment.

最後に D1 及び D2 処理に依るものゝ性能を述べると共に、前記各處理に依るものゝ性能と比較すれば Fig. 5 の如くである。但しこれは抗張力を重視するため A 處理のみは 550° で、他は 150° で各 1 時間最後に焼戻し又は焼鈍せるものゝ結果である。

この結果より抗張力の點では C2 處理、導電率の點では C1 處理が最も適當にして、この兩者の點から考察すれば D 處理が良好であると考へる。

以上の如く本合金は電氣的性質に於て、他の何れの時効性銅合金にも追隨を許さない高値を有するも、機械的強度に於て満足すべきものとは考へられない。即ち本合

Fig. 5 Change of properties by treatments (B3 Alloy).

金は焼戻時効に依つて電氣的性質に相當の改良を計り得るが機械的強度に大して効果なく、而も加工硬化効果が比較的乏しき憾みがある。換言すれば本合金に如何なる處理を應用するも、本研究の目標として Fig. 5 の横線で示したコルソン合金の代表性能 (抗張力 85~90 kg/mm², 導電率 45~50%) に對し、機械的強度に於て満足すべき結果を得ることが出来ない。

IV. Cu-Fe₂P 擬二元合金の性能に及ぼす諸元素の影響

III 項に記述した如く Cu-Fe₂P 擬二元合金は電氣的性質に於て、現在知られて居る高力導電用銅合金に比し遙かに優秀であるが、機械的強度に於て劣つて居る。仍つて著者は本合金の顯著なる時効現象を有効に利用し、その電氣的性質の犠牲を可及的少範圍に止めて機械的強度の増加を計るため、これに諸元素を添加して本研究の目的を達成せんとした。

(1) 實驗試料の調製

基礎合金としては前記同様 B3 合金を採用し、これに有用と考へる元素即ち Si, Sn, Zn, Ag, Cd の 5 種類を選定した。これ等合金の熔解並に鑄造は第 1 報 III, (1) に記載せるものと全く同様にして、これ等より高温鍛造及び高温壓延により直徑 13mm 荒曳線を作製した。その化學分析結果を示せば Table 1 の如くである。

次に加工と熱處理方法には本報 III (1) に記載せるものゝ中で特に有用なる B 處理、C2 處理、D2 處理を採用した。

(2) 實驗結果

斯くして得たる直徑 2.0mm 線に對し、それぞれ最後に 150° で 1 時間焼戻し又は焼鈍を行ひ、これ等の機械的性質と電氣的性質との關係を求めてコルソン合金の性能と比較検討した。その結果は Fig. 6~11 に示す如くである。

これ等の實驗結果より添加元素として Cd が最も有効適切なる元素にして、電氣的性質に大なる犠牲を拂ふことなくして、機械的強度を著しく向上せしめることが出

Table 1 - Chemical compositions of specimens (%).

Specimens	Fe	P	Si	Sn	Zn	Ag	Cd	Cu
FP	1.56	0.46						Bal
Si 1	1.50	0.46	0.21					"
Si 2	1.58	0.46	0.45					"
Si 3	1.60	0.48	0.92					"
Sn 1	1.55	0.48		0.20				"
Sn 2	1.50	0.49		0.46				"
Sn 3	1.50	0.51		1.03				"
Zn 1	1.45	0.44			0.27			"
Zn 2	1.46	0.44			0.56			"
Zn 3	1.47	0.47			1.08			"
Ag 1	1.50	0.48				0.50		"
Ag 2	1.55	0.41				0.96		"
Ag 3	1.53	0.44				1.37		"
Ag 4	1.57	0.48				1.93		"
Cd 1	1.52	0.40					0.20	"
Cd 2	1.52	0.43					0.40	"
Cd 3	1.52	0.40					0.74	"
Cd 4	1.59	0.40					0.92	"
Cd 5	1.55	0.41					1.11	"
Cd 6	1.62	0.48					1.31	"
Cd 7	1.56	0.47					1.65	"

コルソン合金の代替合金としての価値を有することを確認した。

V. Cu-Fe₂P-Cd 合金の二三の性質

以上の研究結果に依つて得たる Cd を含む Cu-Fe₂P 合金の二三の性質を、従来高力導電用銅合金として知られて居る合金中、代表的な数種の合金とそれぞれ最善の條件で比較して本合金の性質を検討した。

(1) 化学分析組成

各種の合金の組成を示せば Table 2 の如くにして、何れも最も有用なる組成である。

(2) 機械的、電気的性質並に比重

各種合金には特定の製造方法を適用してそれぞれ最善の性能を示す状態で機械的、電気的性質及び比重を測定した。その結果は Table 3 に示す如くである。先づ Cu-Cd 合金に就いては導電率は極めて良好であるが、機械的性質は不十分である。Cu-Ag 合金に就いては機械的性質、電気的性質共に良好であるが、後述する如く耐蝕

Fig. 6 B-treatment.

Fig. 7 B-treatment.

Fig. 8 C2-treatment.

Fig. 9 C2-treatment.

Fig. 10 D2-treatment.

Fig. 11 D2-treatment.

来る。即ち Fe₂P 2% を含む銅合金に Cd を 1% 前後添加せる試料即ち Cd 3~7 に C 2 処理又は D 2 処理を適應することに依つて、初めて Cu-Fe₂P 擬二元合金が

性悪く且つ Ag は實用元素でない缺點を有するものである。次に Cu-In 合金に就いては導電率は幾分低いが機械的強度最も高く且つ製造方法も簡單であるが、In 自體

が稀有金属に近い元素である。Cu-Ni₂Si 合金は凡ての性能から考察して比較的良好にして、これに Cd 又は Ag を添加せる Cu-Ni₂Si-Cd 合金又は Cu-Ni₂Si-Ag 合金も亦 Cu-Ni₂Si 合金に比較して幾分良好である。最後には本研究に依つて得られた Cu-Fe₂P-Cd 合金に就いては機械的強度は Cu-Ni₂Si 合金系と略々同様であるが、電気的性質は約 10% 以上良好にして、この点より本合金は高力導電用合金として極めて有用であることを指摘した。一方電線として重要な耐疲労性に就いても本合金は Cu-Ni₂Si 合金系と同様 20×10^6 回以上の繰返振動試験にも耐へる。猶比重に於ては各種合金とも大差ない。

Table 2 Chemical compositions of several high-strength, high-conductivity copper alloys.

Specimen Composition	Cu-Cd	Cu-Ag	Cu-In	Cu-Ni ₂ Si	Cu-Ni ₂ Si-Cd	Cu-Ni ₂ Si-Ag	Cu-Fe ₂ P-Cd
Cd	0.98	—	—	—	0.43	—	1.65
Ag	—	3.76	—	—	—	0.48	—
In	—	—	3.00	—	—	—	—
Ni	—	—	—	3.16	3.12	3.15	—
Si	—	—	—	0.76	0.74	0.75	—
Fe	—	—	—	—	—	—	1.56
P	—	—	—	—	—	—	0.46
Cu	Bal	Bal	Bal	Bal	Bal	Bal	Bal

Table 3 Various properties of several copper alloys.

Specimens	Cu-Cd	Cu-Ag	Cu-In	Cu-Ni ₂ Si	Cu-Ni ₂ Si-Cd	Cu-Ni ₂ Si-Ag	Cu-Fe ₂ P-Cd
Tensile-strength (kg/mm ²)	66.39	87.22	97.00	88.83	89.52	90.15	88.53
Elongation (%) (250mm)	1.84	0.65	0.60	2.20	5.26	1.75	1.45
Elastic-limit (kg/mm ²)	40.82	48.87	49.15	54.33	57.88	56.46	54.90
Yield point (kg/mm ²)	63.29	81.07	91.65	81.97	86.43	86.50	80.02
Young's modulus (kg/mm ²)	13780	12670	13120	13080	13590	13000	13460
Twisting (75 mm)	17	12	7	15	10	6	11
Bending numbers ($\gamma=D$)	4.5	3.0	3.5	8.0	6.0	8.0	5.0
Vibration-fatigue	1.7×10^6	1.2×10^6	1.4×10^6	9.9×10^6	20×10^6 ^a	15×10^6	20×10^6 ^a
Electrical-conductivity (%)	86.46	83.33	43.87	45.55	46.65	47.39	59.14
Thermal-coefficient (α) of Electrical-Resistance	0.003363	0.003113	0.001773	0.001899	0.001932	0.001891	0.002446
Specific gravity	8.96	9.05	9.01	8.92	8.99	8.98	8.95

(3) 耐熱性

(2)の試験に使用せる試料に就いて、常温より 500° で各々 30 分間加熱して高温に於ける抗張力試験を行ふと共に焼鈍効果をも調査した。その結果は Fig. 12~18 に示す如くである。但し圖中の T. S. は高温度に於ける

抗張力を示し、E は各試料を常温に取り出した後測定した伸を示す。又 T. S. (A) 及び E (A) は各温度で焼鈍して常温に放冷した後測定した抗張力及び伸を示す。これ等の実験結果に就いて考察するに、Cu-Ni₂Si 合金を基とせる合金系は何れも焼鈍試験に於ては焼戻時効硬化に依り良好なる耐熱性を示し、就中 Cu-Ni₂Si-Ag 合金並に Cu-Ni₂Si-Cd 合金は比較的良好である。併し高温度に於ける機械的強度は低いことは注目すべきものにして、これは析出硬化型合金の一つの缺點で、恐らく結晶粒界の析出とこれに伴ふ酸化の促進に依るものと考へられる。次に Cu-Fe₂P-Cd 合金、Cu-Cd 合金は Cu-

Ni₂Si 合金系に次いで良好であるが、Cu-Ag 合金及び Cu-In 合金は餘り良好でない。要するに Cu-Fe₂P-Cd 合金は Cu-Ni₂Si 合金系に比較して耐熱性が良好でない。この理由は焼戻硬化能が小さく且つ焼鈍効果が大きいためであらう。

(4) 耐蝕性

実験試料は前記同様直径 2.0mm 線を使用し、これを常温に於て 3% 食鹽水中に 50 週間静置浸漬し、その間に於ける試料の腐蝕減量並に機械的強度の減少率を測定した。但し腐蝕液は測定毎に取り換へた。その結果は Fig. 19, 20 に示す如くにして、先づ腐蝕減量から耐蝕性の良否を判定すれば Cu-Ag 合金が最も悪く、次は Cu-Ni₂Si 合金系にして、就中 Cu-Ni₂Si-Ag 合金が悪く Cu-Ni₂Si-Cd 合金は比較的良好である。Cu-Cd 合金、Cu-Fe₂P-Cd 合金、Cu-In 合金等は何れも他の合金に比し耐

蝕性良好である。次に機械的強度の變化から見れば、腐蝕生成物が緻密に附着せる Cu-In 合金を除いては、腐蝕減量より見たる耐蝕性の良否と大體同様である。就中 Cu-Fe₂P-Cd 合金は腐蝕後の機械的強度も高く、従つて強度の減少率が最も小さく、50 週間腐蝕するも腐蝕前

Fig. 12 Cu-Cd Alloy.

Fig. 15 Cu-Ni₂Si Alloy.

Fig. 13 Cu-Ag Alloy.

Fig. 16 Cu-Ni₂Si-Cd Alloy.

Fig. 14 Cu-In Alloy.

Fig. 17 Cu-Ni Si-Ag Alloy.

Fig. 18 Cu-Fe₂P-Cd Alloy.

Fig. 19 Corrosion-test of several alloys for 3% NaCl-solution.

Fig. 20 Change of strength by corrosion in 3% NaCl-solution for 50 weeks.

の強度の 3~4% 低下するに過ぎない。以上の実験結果より Cu-Fe₂P-Cd 合金は他の合金に比し極めて良好なる耐蝕性を示すことを認めた。

VI. 結 言

著者はニッケルを含まざる高力導電用銅合金を得る目的で、Cu-Fe₂P 擬二元合金を基とせる時効性銅合金に就いて調査研究した。その結果を要約すれば次の如くである。

(1) Cu-Fe₂P 擬二元合金に數種の加工と熱処理方法を適用して、その性能の變化を調査した結果、本合金の電氣的性質は極めて良好であるが、焼戻時効硬化能並に加工硬化能は比較的少く、従つて機械的強度が不十分である。

(2) 仍つてこれに Si, Sn, Zn 各々 1% 以下, Ag 2%

以下, Cd 1.65% 以下を添加し、これ等に有效なる加工と熱処理方法を適應して、各種の性能を調査した。その結果、Cd は最も有效適切な添加元素である。次にこれに時効性を有効に利用し得る加工と熱処理を施すときは、極めて有用な合金が得られることを認めた。

(3) 斯くして得たる Cu-Fe₂P-Cd 合金は抗張力 85~90 kg/mm², 導電率 55~60% といふ極めて強き機械的強度と高き電氣的性質を具備し、コルソン合金と同等の抗張力を有しながら導電率に於て遙かに 10% を凌駕して居る。一方耐熱性は幾分劣るが耐蝕性、耐疲労性共に良好である。

以上の調査研究に依つて、從來工業上最も有用な位置を占めて來た Cu-Ni₂Si 合金、即ちコルソン合金の代替材料としてニッケルを含まない極めて適當な合金を得た次第である。

アルミニウムの組合曲げ振り疲労強度 に及ぼすアルマイトの影響に就いて*

西 原 利 夫** 河 本 實**

Toshio Nishihara and Minoru Kawamoto: The Effect of Almite on the Fatigue Resistance of Aluminium under the Combined Alternating Bending and Torsion. The almite is an anodic oxidation process of the aluminium and the oxidized thin coating has the exceeding hardness. As the fatigue resistance is very sensitive to the surface condition, we can suppose that the almite process gives good effect upon the fatigue resistance of the aluminium. To do research for the subject, fatigue tests were carried out on aluminium and almite under the combined alternating bending and torsion, using the testing machine previously reported. In comparison with the results of fatigue tests, we also made static tests, i. e., the static tension, bending and torsion tests. The results of these experiments are summarized as follows: (1) The almite has little effect upon the static strength of the aluminium for bending, but it strengthens the aluminium somewhat for torsion. (2) The fatigue resistance of aluminium is improved by almite both for bending and torsion, and the rate of increase of the fatigue resistance for torsion is more remarkable. (3) The fatigue resistance of the aluminium and almite under the combined stress can be expressed with good accordance by the author's theory.

(Received July 23, 1943)

I. 緒 言

アルミニウムは腐蝕に對して非常に弱いのであるが、これをアルマイトすることにより腐蝕に對する抵抗が著しく増大する。又同時にアルマイトによる酸化皮膜は非常に固いために強度の點に於ても何等かの影響を及ぼす

ものと考へられる。殊に疲労に對する強度は材料の表面の性質によつて著しい影響を受ける故、實際上極めて薄い酸化皮膜の存在も疲労強度には相當大きな影響を及ぼすのではないかと想像される。又曲げ疲労に對する影響と振り疲労に對する影響とは勿論同一とは考へられない。これらの點を明らかにするためアルミニウム及びアルミニウムにアルマイトを施したものゝ兩者につき曲げ疲労試験、振り疲労試験及び曲げと振りを組合せた場合の

** 京都帝國大學工學部機械工學教室
昭和 18 年 4 月本會第 13 回東京大會に發表