銅、錫を含むアルミニウム合金の熱處理効果について*

故伊 澤 猛三郎** 細 井 吉 一***

The late Takesabro Izawa and Yoshikazu Hosoi: On the Effect of Heat Treatment of Al Alloys Containing Cu, Sn. The present investigation was carried out to ascertain the effect of heat treatment on the natural age hardening and temper hardening of Al alloys containing Cu and Sn which had been used for bearing materials.

As these test pieces were prepared by addition of the mother alloys (Cu_3Sn_5 , Cu_3Sn) and Mg to Al, the results obtained from the study of Al- Cu_3Sn_5 , Al- Cu_3Sn , and Al- Cu_3Sn_5 -Mg systems were as follows:

(1) All the alloys of these systems did not show a natural age hardening at room temperature, and the temper hardening was remarkable except the two alloys containing 2% Cu_3Sn_5 or Cu_3Sn .

But the addition of 1.5% Mg to these two alloys gave an influence upon the temper age hardening. From these results, it was certain that Cu and Sn were soluble in Al.

(2) By heating these natural aged alloys at 220° for a short time, the hardness increased at first and decreased, and then increased.

This first hardening seemed to be a temper hardening without a certain precipitate and the second by it.

(Received April 17, 1951)

I. 緒 言

含 Cu, Sn, Al 合金は軸受材料として使用されているが、その一例を示せば Table 1 の如くである。我が國においては軟質用ブッシュ、ケルメット代用として、2~3% Cu, 7~9% Sn 合金が、また硬質用として 3.5~4.5%

Cu, 2~4% Sn, 1~2% Mg 合金が使用されている。かくの如くこの種合金は軸受材料として優位な性質を有しているがその熱處理効果については未だ發表がない。よつて著者等は我が國で使用されている含 Cu, Sn, Al 軸受合金の熱處理効果をしらべるため、Al に母合金 Cu_3Sn_5 , Cu_3Sn を添加し Al- Cu_3Sn_5 系, Al- Cu_3Sn 系につき検討し、更に Mg の影響をしらべるため Al- Cu_3Sn_5 -Mg 系についても實驗を行つた。

** 元東京工業大學 *** 金澤大學工學部

* 1946 年 10 月本會大會に一部發表

Table 1 Compositions and Designations of Al Bearing Alloys.

Designations	Compositions wt %			
	Cu	Sn	Mg	Al
Fletcher & Emperor	7.5	0.25	—	Bal
L. 10 (England)	10.0	1.25	—	"
L. 11 (England)	6~8	1	—	"
Fletcher's Alloy	3	1	—	"
Chi 701 (Japan)	2~3	7~9	—	"
Chi 702 (Japan)	13.5~4.5	2.0~4.0	1.0~2.0	"
Mock Silver	5.5	10.2	—	"
Mc. Adams	0	8	—	"
Manhardts	6.3	10	0.05	"
Mc. Lure	8.2	5~6	—	"

II. 試料の作成及び実験方法

実験に用いた原料は電解銅, 99.94 % Sn, 99.8 % Al で特に Al 側に近い合金には更に高純度の 99.95 % Al を用いた。試料の調製にはまず 60 % Sn (Cu_6Sn_5), 40 % Sn (Cu_4Sn) の Cu-Sn 系母合金を作成し試料調製に用いた。母合金の溶製にはエレマ爐を用い黒鉛坩堝で Cu を溶融した後、燐銅で脱酸し、配合量の Sn を少量宛添加し均一融體として 10 mm ϕ $\times$ 150 mm の金型に鑄造した。鑄造母合金は分析及び熱分析により初晶温度を決定したが組成は 1 % 以内で一致した。次に試料作成には Al を溶解し、上記母合金及び Mg の定量を添加し炭素棒で充分攪拌後、金型 (10 mm ϕ $\times$ 150 mm) に鑄造作成した。なお酸化防止のため炭素粉末で溶湯表面を被覆した。Table 2 はその試料表で、A 欄は Cu, Sn, Mg の wt % で、B 欄は Cu_6Sn_5 , Cu_4Sn , Mg の wt % で示してある。熱処理として常

Table 2 No. and Compositions of Test Pieces
A. Columns Indicated by Cu, Sn and Mg wt %.
B. Column by Cu_6Sn_5 , Cu_4Sn and Mg.

No.	Compositions wt %					
	A			B		
	Cu	Sn	Mg	Cu_6Sn_5	Cu_4Sn	Mg
1	0.8	1.2	—	2	—	—
2	2.0	3.0	—	5	—	—
3	3.2	4.8	—	8	—	—
4	4.0	6.0	—	10	—	—
5	4.8	7.2	—	12	—	—
6	6.0	9.0	—	15	—	—
7	8.0	12.0	—	20	—	—
8	1.2	0.8	—	—	2	—
9	3.0	2.0	—	—	5	—
10	4.8	3.2	—	—	8	—
11	6.0	4.0	—	—	10	—
12	7.2	4.8	—	—	12	—
13	9.0	6.0	—	—	15	—
14	12.0	8.0	—	—	20	—
15	0.8	1.2	1.5	2	—	1.5
16	2.0	3.0	"	5	—	"
17	3.2	4.8	"	8	—	"
18	4.0	6.0	"	10	—	"
19	4.8	7.2	"	12	—	"
20	6.0	9.0	"	15	—	"
21	8.0	12.0	"	20	—	"

温時効、焼戻時効処理を行い、更に復元処理をなし硬化現象を研究した。ただし、Al- Cu_6Sn_5 系合金の焼鈍は 500° 24 時間爐冷を行い、焼入は 480°, 500° の温度から水 2, 0°; 温水 (60°) の 2 種である。他の二系の合金は 480°, 24 時間爐冷後、480°, 水 (20°) 焼入である。焼入温度での保持時間はすべて 1 hr, 焼戻時間は 30 min で、硬度測定にはヴィッカース硬度計 (10 kg 荷重) を用いた。試料は 10 mm ϕ $\times$ 10 mm の圓筒型である。

III. 実験結果及び考察

試料調製には母合金 Cu_6Sn_5 , Cu_4Sn 及び Mg を添加して製作したので Al- Cu_6Sn_5 系, Al- Cu_4Sn 系, Al- Cu_6Sn_5 -Mg 系の三系に分けて考察することにする。

(1) Al- Cu_6Sn_5 系 (No. 1~No. 7) 合金について Cu:

Fig. 1 Natural Ageing Effect on Vickers Hardness (No. 1, No. 4 20° W. Q. No. 2 NQ ϕ 60° W. Q.).

Sn を 2:3 の割合で含有するこの種合金には、焼入温度及び水、温水焼入にかかわらず常温時効硬化現象は認められない。Fig. 1 はその一例である。圖において實線は 500° 焼入、破線は 480° 焼入で、No. 1, No. 4 は水焼入、他は温水焼入である。これに反し焼戻硬化は顯著であり、500°

Fig. 2 Temper Ageing Effect on Vickers Hardness (No. 4 20° W. Q. No. 1, No. 2, No. 6 60° W. Q.).

480° 水焼入試料に対しては 100°, 150°, 200°, 250°, 300°, 350°, 400° の各温度で焼戻を行つた。ただし No. 3, No. 5

は 100°, 150°, 210°, 250°, 310°, 370° で焼戻を行い、温水焼入の場合は 100°, 150°, 200°, 270°, 350°, 400° で焼戻である。500° 水焼入の場合 No. 1 を除いてはいずれも焼戻硬化が著しく、250° 焼戻で最高硬度を示し、No. 4 は 108 (V. H. N.) を示した。また 480°, 水焼入の場合 No. 1 を除きいずれも 210~300° 焼戻で最高硬度を示し No. 5 は 109 (V. H. N.) を示した。温水焼入の場合は No. 1 を除き 200~270° 焼戻でいずれも最高硬度を示し、500°, 480° 焼入共に No. 6 が 200° 焼戻で各々 105, 93 (V. H. N.) を示した。以上のように焼戻硬化は顯著であり、焼入温度、水焼入、温水焼入による差異は著しくないが、焼入温度が高い場合、硬化率が高いようである。Fig. 2 はその一例を示す。圖において實線は 500°, 硬線は 480° 焼入で、No. 4 は水焼入、他は温水焼入の結果である。次に 480°, 水焼入、常溫時効後、220° で復元処理を行つたが、No. 1 を除き 1~8 分の處理で硬度は上昇、8~10 分で一旦軟化、更に長時間處理で硬度は上昇する。Fig. 3 の No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 はその一例である。

Fig. 3 Effect of Heating for a Short Time at 220° on Vickers Hardness of Natural Age-hardening Alloys after Quenching to 20°-Water from 480°.

(2) Al-Cu₃Sn 系 (No. 8~No. 14) 合金について Cu: Sn を 3:2 の割合で含むこの種合金には殆ど常溫時効現象は認められないが、焼戻硬化は顯著である。Fig. 4 は 480°, 水熱入後、150°, 210°, 250°, 310°, 370° で焼戻處理を行つた結果の一例であるが、No. 8 を除き 210°, 焼戻で最高硬度を示し、No. 10~No. 14 は 115~119 (V. H. N.) に達した。次に 480°, 水焼入、常溫時効處理後、220° で復元處理を行うと、No. 8 を除き約 5 分迄の處理で硬化し、8 分で一旦軟化、更に長時間處理で硬化する。Fig. 3 の No. 8, No. 9, No. 10, No. 11 はその一例である。

(3) Al-Cu₆Sn₅-Mg 系 (No. 15~No. 21) 合金について Al-Cu₆Sn₅ 系合金、No. 1~No. 7 (Cu:Sn を 2:3 の割合で含有) に 1.5% Mg を添加したこの種合金にも殆ど常溫時効硬化は認められない。480° 水焼入後 150°, 210°, 250°, 310°, 370° の各温度で焼戻を行つたが焼戻硬化は顯著でいずれも 250° 焼戻で最高硬度を示し、No. 17 は 88

Fig. 4 Temper Ageing Effect on Vickers Hardness after Quenched to 20° Water from 480°.

Fig. 4 Temper Ageing Effect on Vickers Hardness after Quenched to 20° Water from 480°.

(V. H. N.) を示すが前記二系の合金に比し硬化率は低下し、焼戻硬化のなかつた No. 1 が Mg 1.5% 添加により硬化する (No. 15)。Fig. 4 はこれを示す。また No. 1~No. 14 は Cu, Sn の含有量の増加と共に焼戻硬度は上昇するが、Mg の添加により定量以上の Cu, Sn (3.2% Cu, 4.8% Sn) を含有するものは焼戻硬度は次第に低下する。次に 480° 水焼入、常溫時効後、復元處理を行うと 1~3 分迄は硬化し、3~8 分で一旦軟化、更に長時間處理で硬度は上昇する。Fig. 3 にその一例を示す。

IV. 總 括

含 Cu, Sn, Al 合金として Al-Cu₆Sn₅, Al-Cu₃Sn, Al-Cu₆Sn₅-Mg 系につき常溫時効、焼戻時効を研究し更に復元處理による硬度變化を測定し次の諸結果を得た。

(1) 含 Cu, Sn, Al 合金には顯著な常溫時効硬化現象は認められない。すなわち Al-Cu 系 Al 合金の常溫時効硬化は Sn の添加により極めて微弱になる。

(2) Cu:Sn を 2:3 の割合で含有する Al-Cu₆Sn₅ 系合金は 500° 水焼入の場合 250° で、480° 水焼入の場合 210° 焼戻で最高硬度を示し、温水焼入の場合は焼入温度にかかわらず 200° 焼戻で最高硬度を示す。

(3) Cu:Sn を 3:2 の割合で含有する Al-Cu₃Sn 系合金は 480° 水焼入、250° で、また Cu:Sn を 2:3 で含有し 1.5% Mg を添加した Al-Cu₆Sn₅-Mg 系合金は 480° 水焼入、250° 焼戻で最高硬度を示すが後者の硬化率は低い。

(4) (Cu+Sn) 量を 2% 含有する Al 合金 (母合金 Cu₆Sn₅ または Cu₃Sn を 2% を含む合金) には焼戻硬化は認められないが Mg 1.5% 添加すれば硬化がおこる。よつて Al は Cu, Sn を固溶し Mg の添加により固溶限が狭められるものと考えられる。

(5) Cu, Sn あるいは Cu, Sn, Mg を含む合金は 220°

復元處理により短時間處理で硬化し、次に一旦軟化、更に長時間處理で硬化する。初期の硬化はある種の析出の伴わない一種の焼戻硬化、後期の硬化は析出物によるものと考ええる。

終に本研究にあたり種々御指導を戴いた恩師故伊澤猛三

郎教授に對し深く感謝の意を表すると共に博士の御冥福を祈る。(附記) Al-Cu-Sn 三元系定性狀態圖の研究⁽¹⁾はあるが Al 側の固溶限については目下検討中である。

(1) 佐藤, 矢島, 本誌, 8 (1944),