研究報告

Al-Mg-Si 系合金の研究 (第4報)**Al-Mg-Si 3元合金の機械的性能と電気伝導度におよぼす****ジルコニウム, 鉄, 銅およびカドミウムの微量添加の影響**

寺井 士郎* 馬場 義雄**

Study on the aluminium-magnesium-silicon alloy (4th Report)

(UDC 669.715.72.782)

Effect of the small addition of zirconium, iron, copper and cadmium on the mechanical properties and electrical conductivity of Al-Mg-Si ternary alloy

TERAI Shiro* BABA Yoshio**

This is to report on the study of the effect of the small addition of zirconium, iron, copper and cadmium on the mechanical properties and electrical conductivity of Al-Mg-Si ternary alloys with different Mg/Si weight ratio.

The findings are summed up as follows:

(1) The addition of zirconium gives the largest effect of all the additive elements on the increase in strength of Al-Mg-Si alloy as-extruded. When the specimens containing zirconium are extruded and treated by the precipitation heat treatment at 230°C for 2 hours, the following mechanical properties and electrical conductivity can be easily obtained:

Conductivity; (% IACS at 20°C)	57%
Ultimate tensile strength;	22 kg/mm ²
Tensile yield strength;	17 kg/mm ²

(2) By the addition of iron, the strength of as-extruded Al-Mg-Si alloy is slightly increased. But, iron does not give any effect on the enhancement of mechanical properties of the alloy after precipitation heat treatment.

(3) Addition of copper increases the strength of Al-Mg-Si alloy after precipitation heat treatment and the decrease in electrical conductivity is comparatively small.

Only after precipitation treatment, "excess silicon alloy" containing 0.2~0.4% of copper shows the following values of mechanical properties and electrical conductivity:

Conductivity; (IACS at 20°C)	58-56%
Ultimate tensile strength	22-25 kg/mm ²
Tensile yield strength;	17-20 kg/mm ²

From this experiment, it is found that the Al-Mg-Si alloy containing small amount of copper is quite suitable for electric conductor, if the environment is not so corrosive.

(4) Addition of cadmium increases the mechanical properties of Al-Mg-Si alloy after solution and precipitation heat treatment. But in case the T-5 treatment is given to the metal, such effect is not so remarkable as in the case of the addition of copper.

(Received Dec. 11, 1962)

1. 緒 言

Al-Mg-Si 系合金を電気伝導材として使用する場合、

種々の性質が要求されるが、その一つは機械的性質と電気伝導度のかねあいであろう¹⁾。そこで、前報²⁾では、機械的性質を劣化させず、電気伝導度を向上せしめる添

* 住友軽金属工業株式会社研究部博士 Sumitomo Light Metal Industries, Ltd., Tech. Dept., Dr. Eng.

** 住友軽金属工業株式会社研究部 Sumitomo Light Metal Industries, Ltd., Tech., Dept.

Table 1 Chemical composition of test specimens

		Mg	Si	Zr	Fe	Cu	Cd	
Basal Al-Mg-Si Alloys	1	0.75	0.37	nil	0.20	0.01	nil	Excess Mg
	2	0.70	0.48	nil	0.19	0.03	nil	Balanced Mg_2Si
	3	0.62	0.51	nil	0.19	0.02	nil	Excess Si
	4	0.75	0.36	nil	0.11	0.01	nil	Excess Mg
	5	0.69	0.45	nil	0.11	0.01	nil	Balanced Mg_2Si
	6	0.55	0.56	nil	0.11	0.01	nil	Excess Si
Al-Mg-Si + Zirconium	7	0.78	0.35	0.14	—	—	—	Excess Mg
	8	0.75	0.36	0.34	—	—	—	
	9	0.75	0.39	0.49	—	—	—	
	10	0.70	0.48	0.12	—	—	—	Balanced Mg_2Si
	11	0.70	0.48	0.33	—	—	—	
	12	0.68	0.46	0.48	—	—	—	
	13	0.58	0.58	0.12	—	—	—	Excess Si
	14	0.62	0.55	0.36	—	—	—	
	15	0.62	0.58	0.51	—	—	—	
Al-Mg-Si + Iron	16	0.78	0.39	—	0.27	—	—	Excess Mg
	17	0.79	0.36	—	0.54	—	—	
	18	0.78	0.39	—	0.65	—	—	
	19	0.67	0.47	—	0.29	—	—	Balanced Mg_2Si
	20	0.70	0.48	—	0.48	—	—	
	21	0.71	0.47	—	0.68	—	—	
	22	0.59	0.57	—	0.28	—	—	Excess Si
	23	0.59	0.56	—	0.47	—	—	
	24	0.57	0.59	—	0.70	—	—	
Al-Mg-Si + Copper	25	0.79	0.36	—	—	0.14	—	Excess Mg
	26	0.79	0.34	—	—	0.26	—	
	27	0.78	0.34	—	—	0.56	—	
	28	0.65	0.47	—	—	0.12	—	Balanced Mg_2Si
	29	0.66	0.48	—	—	0.27	—	
	30	0.67	0.45	—	—	0.57	—	
	31	0.58	0.59	—	—	0.12	—	Excess Si
	32	0.57	0.56	—	—	0.27	—	
	33	0.56	0.56	—	—	0.57	—	
Al-Mg-Si + Cadmium	34	0.78	0.35	—	—	—	0.06	Excess Mg
	35	0.78	0.34	—	—	—	0.25	
	36	0.75	0.36	—	—	—	0.45	
	37	0.66	0.46	—	—	—	0.08	Balanced Mg_2Si
	38	0.67	0.45	—	—	—	0.30	
	39	0.67	0.45	—	—	—	0.45	
	40	0.55	0.54	—	—	—	0.09	Excess Si
	41	0.57	0.55	—	—	—	0.23	
	42	0.55	0.52	—	—	—	0.48	

— [not added]

加元素として、ほう素について、電気伝導度の改善効果およびその機構について検討を行なった次第であるが、工業的生産においては、不純物として含有される鉄、マンガン、クローム、亜鉛および銅など、またこの合金系の電気伝導度をあまり低下させることなく機械的性質の改善が予測され得る元素として、例えばジルコニウム、カドミウム、ベリリウムあるいはカルシウムなどの元素添加の効果についても調査しておく必要がある。

本報においては、上述の添加元素のなかで、ジルコニウム、鉄、銅ならびにカドミウムが本系合金の機械的性質および電気伝導度におよぼす影響について研究した結果を報告する。

2. 実験材料

実験材料として、鉄以外の元素添加の効果を検討するためには純度 99.7% アルミニウム地金を基材に、鉄の影響を調査するためには、純度 99.9% アルミニウム地金を基材に使用し、ジルコニウム添加には Al-5% Zr 中間合金を、鉄の添加には Al-5% Fe 中間合金を、銅の添加には Al-50% Cu 合金を、カドミウムの添加には純度 99.98% のカドミウムを使用した。

3. 実験方法

2.にのべた実験材料を使用して含有するマグネシウムとケイ素の合計を1.15%に調整したAl-Mg-Si合金を、それぞれ、過剰マグネシウム合金 (Al-Mg 0.8%-Si 0.35% 合金) —Balanced Mg₂Si 合金 (Al-Mg 0.7%-Si 0.45% 合金) ならびに過剰ケイ素合金 (Al-Mg 0.6%-Si 0.55% 合金) の3合金に分け、そのそれぞれに上記添加元素を0~0.6%の範囲で加え、Table 1 に分析結果を示した試料を Table 2 に示した溶解条件で溶製した。以上のようにして得た小型押出し用ピレットは、第1報にのべた研究押出し用 300 t 水圧押出し機で、Table 3 に示した条件で押出した。かくして得た押出し材について、1) 押出しのまま、2) 押出し後焼なまし、3) 押出し後析出処理のみ (230℃ × 2 hrs)、4) 押出し溶体化処理後室温時効 (520℃ × 1 hr W.Q. → 2 週間室温時効) 5) 溶体化処理

後 (520℃ × 1 hr W.Q.) 直ちに析出処理 (170℃ × 8hrs) あるいは、2 週間室温時効後、析出処理 (170℃ × 8 hrs, 230℃ × 2 hrs) の 5 通りの条件について、上述の添加元素の効果を調査した。

4. 実験結果

4.1 押出しのままの性質について

Al-(Mg+Si) 1.15% 合金の押出しのままの機械的性質および電気伝導度におよぼす上述の添加元素の影響を Fig. 1 に示した。Fig. 1 によると、Mg/Si の量比の異なる各合金の耐力はジルコニウムの添加によりもつとも上

Fig. 1 Effects of some additional element on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys as extruded condition

Table 2 Melting and casting conditions of the test ingots

Melting temperature (°C)	Chlorination temperature (°C)	Casting temperature (°C)	Dimension of mold (mm)	Temperature of mold (°C)
760	730	720	68φ × 170 l	100

Table 3 Extruding conditions of the test specimens

Temperature of billet (°C)	Temperature of container (°C)	Temperature of dies (°C)	Dimension of dies hole (mm)	Extruding speed (m/min)
480	350	350	10φ × 3 holes	10

昇効果が大きく、ジルコニウム以外の添加元素は Mg/Si 量比によつて、効果が若干異なっている。また引張強さについては、ジルコニウムの添加は耐力における場合と同様に Mg/Si 量比に左右されず上昇効果を認めるが、他の添加元素は Mg/Si 量比によつて効果がことなり、過剰ケイ素合金への添加が、ややその効果が大きいことが認められた。伸びについては、ジルコニウムの添加は、伸びの減少を認めるが、他の添加元素は伸びに関してはほとんど影響がないようである。電気伝導度は、いずれの添加元素も、添加量の増加に伴つて減少することが認められる。

4.2 押出し後の熱処理による性質の変化

4.2.1 焼鈍し材の性質

4.1 に述べたのと同様の結果を焼鈍し材について、Fig. 2 に示した。Mg/Si 量比のことなる各合金の耐力はジルコニウムの添加によりもつとも上昇効果が大きく、ジルコニウム以外の添加元素の添加は上昇効果にほとんど差が認められない。また、引張強さについても、ジルコニウムの添加による増加は大きい、他の元素添加による増加は少ない。伸びに関しては、ジルコニウムの

添加は若干伸びの減少を示すが、他の元素を添加した場合には、そのような現象は認められていない。さらに電気伝導度についてはいずれの元素も添加に伴つて、減少の傾向を示す。特に減少の傾向の著しいものは、過剰マグネシウム合金に各元素を添加した場合で、この場合、ジルコニウムの添加は他の元素の添加よりもさらに、電気伝導度の低下が著しいことが認められた。

4.2.2 押出し後析出処理した場合の性質

押出し材を、溶体化することなく析出処理を行なつた場合の性質について調べた結果を、Fig. 3 に示した。まづ耐力は、各添加元素を、過剰ケイ素合金に添加したものがいづれも、増加は大きく、添加元素の種類では、銅の添加による耐力の増加が大きく、鉄の添加は耐力の増加にはほとんど効果のないことが認められた。押出しのまま耐力の増加にかなりの効果のあつたジルコニウムは、カドミウムの効果とほとんど同程度になつている。引張強さにおいても耐力とほぼ同様の傾向が認められ、過剰ケイ素合金に銅を添加したものは、押出し後の析出処理のみで 20~25 kg/mm² 程度の引張強さを得ることができる。伸びについては特に Mg/Si 量比との関連

Fig. 2 Effects of some additional elements on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys after annealing at 410°C for 2 hrs.

Fig. 3 Effects of some additional elements on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys precipitated at 230°C for 2 hrs. after extrusion.

性も添加元素の種類による相異も認められなかつた。電気伝導度については、析出処理により当然押出しのままの状態より回復を示すが、その傾向は過剰ケイ素の試料に大きく現われており、電導度 57% 程度のもので、25 kg/mm² 程度の引張強さを有するものが微量の銅を添加したのものには得られることがわかる。

4.2.3 溶体化処理後室温時効した場合の性質

溶体化処理後室温時効の性質を Fig. 4 に示した。

Fig. 4 によると、溶体化処理後の室温時効によりジルコニウムを添加した試料では、耐力ならびに引張強さが、Mg/Si の量比に関係なく著しい向上をみせ、その他の添加元素は、引張強さの増加に対して銅がやや効果がある以外は、特に目立つた効果は認められなかつた。ジルコニウムおよび銅は電気伝導度を低下させるが、その他の元素はそのような傾向を示さなかつた。

4.2.4 溶体化処理後析出処理した場合の性質

520°C で 1 時間溶体化処理した後直ちに 170°C で 8 時間の高温時効処理を行なつた試料についての結果を Fig. 5 に示した。Fig. 5 によれば、耐力ならびに引張強さに対するジルコニウムの影響は、過剰ケイ素合金に添

加した場合以外は極めて微少である。また鉄の影響は本系合金の溶体化処理後の高温時効に対しては減少の傾向を示し、特に過剰マグネシウム合金または balanced Al-Mg₂Si 合金においては、その傾向は著しい。それとは反対に銅ならびにカドミウムを添加した試料は、耐力ならびに引張強さを著しく増加させている。Mg/Si 量比との関係については、過剰ケイ素合金への添加が、時効後の強度増加に著しい効果を示すことが認められた。またジルコニウムの添加は、電気伝導度の低下を示すが特に 0.1%~0.2% 程度の添加で著しく低下する。ジルコニウム以外の元素は、どの元素も添加量の増加にしたがつて、電気伝導度を低下させるが、その影響は比較的少ないことが認められた。

以上の結果は、溶体化処理後直ちに析出処理を行なつた場合の結果であるが、溶体化処理後、2 週間の室温時効を行なつた後に析出処理を行なつた場合の結果を、Fig. 6 に示した。Fig. 5 と Fig. 6 を比較することによつて、溶体化処理後の室温時効が析出処理後の性質におよぼす影響がわかるが、これについては後述することにして溶体化処理後室温時効を行なつた後の析出処理材につ

Fig. 4 Effects of some additional elements on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys solution heat treated at 520°C for 1 hr. and aged at room temperature for 2 weeks.

Fig. 5 Effects of some additional elements on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys solution treated at 520°C for 1 hr. and immediately precipitated at 175°C for 8 hrs.

いて結果を見ると、添加元素の Al-(Mg-Si)1.15 系合金への影響はしばしば前述の溶体化処理後直ちに析出処理を行なった場合の結果と似ている。すなわち、引張強さおよび耐力は銅を含有せるものが最も時効後の増加が大きくカドミウムがこれにつぎ、ジルコニウムおよび鉄は時効後の増加量はもつとも少ないことが認められる。電気伝導度についてはジルコニウムを添加した材料は、伝導度低下の傾向が強いが、その他の元素は、特に著しい低下が認められなかった。**Fig. 7** は、溶体化処理後、2週間室温時効を行なった後、230°C で2時間時効処理した場合の結果で、引張強さおよび耐力は銅を添加したものがもつともすぐれ、ついでカドミウムまたはジルコニウムを添加したものがすぐれており、鉄を添加したものは耐力を低下させることが認められた。電気伝導度は、銅またはジルコニウムを添加した合金がもつとも低下の程度が大きく、他の元素は低下の傾向が比較的少ない。強度および電気伝導度の両者を考慮すれば、カドミウムを添加した合金によるものがもつとも安定した性能を示している。

以上の結果を、それぞれ下に示す算式によつて、計算

Fig. 6 Effects of some additional elements on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys solution heat treated at 520°C for 1 hr. and precipitated at 175°C for 8 hrs. after aging at room temperature for 2 weeks.

し、時効による変化率を計算してみた。

軟質材における引張強さを σ_{B0} 、耐力を $\sigma_{0.20}$ 、電気伝導度を K_0 とし、室温時効を完了した時のそれぞれの性質を、 σ_{BT4} 、 $\sigma_{0.2T4}$ 、 K_{T4} とし、溶体化処理後直ちに高温時効処理をしたものを、 σ_{BWT6} 、 $\sigma_{0.2WT6}$ 、 K_{WT6} とし室温時効2週間実施してから高温時効処理をしたものを、 σ_{BT46} 、 $\sigma_{0.2T46}$ 、 K_{T46} とした場合、溶体化処理後室温時効完了試料の引張強さの変化率を $\frac{\sigma_{BT4} - \sigma_{B0}}{\sigma_{B0}} \times 100(\%)$ で表わし、以下それにならつて、完全焼鈍し材を基点としてそれぞれの熱処理条件による変化率を表わすこととした。

Fig. 8 は、ジルコニウムを添加した場合の結果で、いずれも、引張強さおよび耐力に対しては、添加量が増加とともに変化率は、減少する傾向が認められ、特に0.3%程度の添加範囲で減少の割合が多いことが認められる。変化率の熱処理方法の相異による影響は、溶体化処理直後に析出処理したものがもつとも強く、溶体化処理後2週間の室温時効を行なった後、析出処理をした試料はそれにつぐが、両者における差はほとんど認められなかった。溶体化処理後室温時効処理した試料は、もつとも変化率は少ない。Mg/Si量比と変化率の関係は、耐力

Fig. 7 Effects of some additional elements on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys solution heat treated at 520°C for 1 hr. and precipitated at 230°C × 2 hrs. after aging at room temperature for 2 weeks.

については、過剰マグネシウム合金に添加した場合、その変化率は他の量比の成分合金に添加した場合より少ない。つぎに、電気伝導度は、ジルコニウムの添加により溶体化処理後の高温時効処理によって、変化率は増大する傾向があるが、室温時効の場合には逆に減少をきたしている。**Fig. 9** は、鉄を添加した場合の結果で、鉄は引張強さおよび耐力に対しては、添加量の増加とともに変化率を減少する傾向を示す。溶体化処理後の高温時効に対する室温時効の影響については、ジルコニウムを添加した場合と同様、あまり著しい結果は認められなかった。電気伝導度の変化率の減少に対しては、鉄の添加は減少

Fig. 8 Effect of zirconium addition on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys aged by three methods and those of annealed one.

W→T6 : Solution heat treated and immediately precipitated

T4→T6: Solution heat treated and precipitated after aging for 2 weeks at room temperature.

T4 : Solution heat treated and aged for 2 weeks at room temperature.

を抑制する傾向が認められた。

Fig. 10は、銅を添加した場合の結果で、銅の添加は引張強さおよび耐力に対しては、添加量の増加とともに変化率を著しく増大させる。この傾向は特に過剰ケイ素合金に添加した場合に大きくなることが認められた。電気伝導度については、溶体化処理後室温時効させた場合には減少の傾向が強いが、溶体化処理後高温時効処理した試料においては逆に時効による減少の変化率は少なくなる傾向を示している。

Fig. 11 は、カドミウムを添加した場合の結果でカドミウムの添加は、溶体化処理後の、変化率を著しく増加

Fig. 9 Effect of iron addition on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys aged by three methods and those of annealed one.

W→T6 : Solution heat treated and immediately precipitated

T4→T6: Solution heat treated and precipitated after aging for 2 weeks.

T4 : Solution heat treated and aged for 2 weeks.

させている。この場合、銅を添加した場合とは逆に過剰マグネシウム合金での変化率が大きくなる傾向を示す。

電気伝導度に対しては、溶体化処理後、室温時効の状態では、低下の割合が大きいが、析出処理を行なった場合には、伝導度の変化率は比較的少ない。

5. 結果に対する考察

以上得られた結果、本報告にて調査した各添加元素が Al-Mg-Si 系合金の性質に対する効果について若干の考察を行なつて見よう。

まず、ジルコニウムは、押出しのままの強さの上昇に

Fig. 10 Effect of copper addition on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys aged by three methods and those of annealed one.
W→T6 : Solution heat treated and immediately precipitated.
T4→T6: Solution heat treated and precipitated after aging for 2 weeks.
T4 : Solution heat treated and aged for 2 weeks.

特にすぐれた効果を示すが、その原因として再結晶温度の上昇⁹⁾が考えられ、押出しのままの組織は、完全な加工組織であると思われる。押出しのままの組織を、**Photo. 1**に示したが、ジルコニウムの添加量 0.3% の程度で完全な加工組織を示している。他の添加元素ではいずれも再結晶組織であつて、ジルコニウムを添加した試料に認められる程度の加工組織は認められなかつた。

この試料を、410℃ で 2 時間加熱し炉冷した場合の再結晶の進行程度を X 線背面反射によつてしらべて見ると、**Photo. 2**のごとく、410℃ で 2 時間の加熱によつても、ジルコニウム 0.16% を含んだものにおいてもわず

Fig. 11 Effect of cadmium addition on the electrical conductivity and tensile properties of Al-Mg-Si ternary alloys aged by three methods and those of annealed one.
W→T6 : Solution heat treated and immediately precipitated.
T4→T6: Solution heat treated and precipitated after aging for 2 weeks.
T4 : Solution heat treated and aged for 2 weeks.

Mg 0.81 Zr 0.34
Si 0.36

Mg 0.8 Fe 0.3
Si 0.3

Mg 0.79 Cu 0.26
Si 0.34

Mg 0.78 Cd 0.3
Si 0.34

Photo. 1 Micro structures of as-extruded Al-Mg-Si alloys containing 0.3% each of zirconium, iron, copper and cadmium. ($\times 100$)

Fig. 12 Effect of zirconium addition on the tensile yield strength of Al-Mg-Si ternary alloys aged by three methods and annealed one.

- a: based on $410^{\circ}\text{C} \times 2\text{hrs.}$ heating as annealed condition.
b: based on $540^{\circ}\text{C} \times 2\text{hrs.}$ heating as annealed condition.

かのスポットが認められる程度で、再結晶は完了していない。したがって前節にのべた、熱処理による変化率の算定式でジルコニウムに関して、 410°C で 2 時間加熱炉冷によつてもなお加工組織でジルコニウムの添加に関する限り、 410°C で 2 時間加熱炉冷の状態を基礎とすることは不合理のように思われる。

そこで 540°C で 2 時間加熱し空冷した場合のおよび本実験において溶体化処理温度として選んだ $520^{\circ}\text{C} \times 1\text{hr}$ 加熱水冷の両者の X 線写真を調べてみると **Photo. 3** および **Photo. 4** に示したごとく、再結晶に対応するスポットの数はかなり増加しているが、完全に再結晶を完了するまでには至っていない。しかし機械的性質の面では 540°C で 2 時間加熱炉冷したものは **Table 4** に示したごとくしばしば安定した結果を示しているので、この数値を用いて、時効に伴う変化率を算出すると、**Fig. 12** に示すように 410°C で 2 時間加熱炉冷の状態を基礎とした変化率に比べてジルコニウムの添加量による変化率は低下の傾向は少ないことが認められなかつた。したがって、実験の結果にのべたジルコニウムの添加による、変化率の減少は、ジルコニウム自体の直接的な影響ではなくて、ジルコニウム添加による再結晶温度の上昇が間接的に作用したものと考えられる。

鉄が Al-Mg-Si 系合金の時効におよぼす影響については、あまり文献に詳述されたものがないが、われわれが本

Mg 0.58
Si 0.58
Zr 0.12

Mg 0.62
Si 0.58
Zr 0.31

Mg 0.62
Si 0.61
Zr 0.36

Photo. 2 X-ray diffraction patterns of Al-Mg-Si alloys containing zirconium. Furnace cooled after heating at 410°C for 2 hrs.

Mg 0.58
Si 0.58
Zr 0.12

Mg 0.62
Si 0.58
Zr 0.31

Mg 0.62
Si 0.61
Zr 0.36

Photo. 3 X-ray diffraction patterns of Al-Mg-Si alloys containing zirconium. Water quenched after heating at 520°C for 1 hr.

Mg 0.58
Si 0.58
Zr 0.12

Mg 0.62
Si 0.58
Zr 0.31

Mg 0.62
Si 0.61
Zr 0.36

Photo. 4 X-ray diffraction patterns of Al-Mg-Si alloy containing zirconium. Furnace cooled after heating at 540°C for 2 hr.

Table 4 Variation of mechanical properties of Al-Mg-Si alloy by different annealing conditions

Composition (%)			Mechanical Properties					
Mg	Si	Zr	410°C×2 hrs annealed			540°C×2 hrs annealed		
			σ_B kg/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	δ %	σ_B kg/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	δ %
0.75	0.37	—	9.0	3.8	33			
0.78	0.35	0.14	11.1	6.5	23	10.7	4.4	33
0.81	0.36	0.34	15.1	10.9	21	12.0	5.6	30
0.75	0.39	0.49	14.0	9.1	21	11.8	5.3	28
0.70	0.48	—	9.2	3.7	36			
0.70	0.48	0.12	13.2	7.8	26	10.7	3.9	32
0.70	0.48	0.33	14.9	10.0	25	11.3	4.7	34
0.67	0.46	0.48	14.8	10.5	14	11.0	4.6	37
0.62	0.51	—	9.3	3.7	35			
0.58	0.58	0.12	12.8	7.5	25	10.8	3.9	32
0.62	0.55	0.36	15.2	10.1	24	11.3	4.9	31
0.62	0.58	0.51	14.9	10.1	25	11.6	5.7	31

All specimens containing zirconium were not recrystallized after 410°C×2 hrs annealing.

実験を行なった範囲では、鉄の添加は、Al-Mg-Si 系合金の機械的性質の時効にもとづく変化に対しては、時効能力を低下させる影響を与えるが、電気伝導度に対しては、あまり影響を与えない点から考えて、Al-Mg-Si 系における鉄は、Al-Fe-Si 系の金属間化合物を形成し⁴⁾、Al-Mg-Si 系の硬化要素と考えられる Mg_2Si 量を減少させる傾向に働くため、上述のごとき現象を示したものと考えられる。

銅の添加による時効硬化量の増大は、Al-Mg-Si 系合金において、ジュラルミン系の硬化要素と考えられている Al-Mg-Cu よりなる S 化合物による時効硬化が、 Mg_2Si による時効硬化よりもすぐれているからと考えられよう。

カドミウムの添加は H. K. Hardy⁵⁾ が Al-Cu 系合金の時効の研究において、GP[2] の生成を容易ならしめることを見出しているが、Al-Mg-Si 系合金の場合においても、高温における時効による性質の変化がカドミウムを添加することによつて増大されるのは、Al-Cu 系合金の時効におよぼすカドミウムの効果と現象的には同様な過程をふむものと考えてもよいのではなからうか。

6. 結 言

本研究において、Al-Mg-Si 系合金に対する添加元素の効果として、ジルコニウム、鉄、銅ならびにカドミウム添加の効果について調査し次の結果を得た。

1. ジルコニウムの添加は Al-Mg-Si 系合金の押出し材の押出しのまま強度の増加に今回調査した添加元

素のなかでは最も効果が大きい。押出し後 230°C で 2 時間焼もどした場合には、引張強さ 22 kg/mm² で電気伝導度 57% 程度の材料が得られる。

2. 鉄の添加は、押出しのままの状態では若干機械的性質の増加を示すが、析出処理後の機械的性質の向上に対しては効果を有しない。
3. 銅の添加は、微量でも Al-Mg-Si 系合金の時効による硬化を著しく増加させまた比較的電気伝導度を低下させることも少なく、銅を 0.2~0.4% 程度過剰ケイ素合金に添加した場合押出し後の焼もどし処理のみで引張強さ 22~25 kg/mm²、電気伝導度程度 58~56% の材料を得ることができる。

耐食性の問題が特になければ、微量の銅を添加した Al-Mg-Si 系合金の利用は十分考えられる。

4. カドミウムの添加は、高温における時効による性質の変化に有望であることが認められる。しかし押出しのままの状態のものを高温で時効するのみでは銅の添加におけるようにはいかない。

参 考 文 献

- 1) 寺井, 馬場: 軽金属, **53** (1962), 151
- 2) 寺井, 馬場: 軽金属, **57** (1963), 5
- 3) R. H. Harrington: Trans. A.S.M., Vol. **41** (1949), 443
- 4) H. W. L. Phillips: J. Inst. Metals, Vol. **72** (1946), 151
- 5) H. K. Hardy: J. Inst. Metals, Vol. **80** (1951~52), 483