鑄造用強力 Al-Si-Mg-Zn 系合金の研究 (第 2 報)

西 成基*, 篠田 武雄*

Study on high strength casting Al-Si-Mg-Zn alloys (2nd Report)

UDC 669.715'782'721'5-14

NISHI Seiki* and SHINODA Takeo*

Investigations were made on the effects of the addition of Cr, Ti, and Be on macrostructure and mechanical properties of Al-5% Si-(0.5~0.8%) Mg-(0.7~2.0%) Zn alloys and the following results were obtained.

(1) The change in macrostructure of Al-5% Si-0.5% Mg-1% Zn alloy depended upon Be content, and the grain size of the alloy was refined by the addition of 0.1% of Be.

(2) Al-5% Si-(0.5~0.8%) Mg-(0.7~2.0%) Zn alloys, which had contained 0.1% of Be and been de-gassed by $ZnCl_2$, had refined macrostructure. After cast in sand mold and T6 treated, the tensile strength of these alloys was increased to 42 kg/mm² and their elongation reached over 2%. It was found that the effect of improving tensile strength by the addition of Be was greater in the test pieces of sand mold than those of metallic mold. When sodium was contained in these alloys, they were likely to have coarser macrostructure and lower tensile strength.

(3) When each of Be, Cr, and Ti was added to Al-5% Si-(0.5~0.8%) Mg-(0.7~2.0%) Zn alloys, the effect of additional elements on tensile strength and proof stress of test pieces of metallic mold was almost negligible. However, elongation was slightly improved by the addition of Be.

(Received Dec. 13, 1968.)

1. 緒 言

Al-Si-Mg-Zn 系四元合金については、第 1 報¹⁾においてすでに報告したが、本報においてはこの四元系合金に種々の熱処理を施し、さらに第五元素を添加した場合ならびに、実用に供するための資料として、鑄造上の特性を求める実験を行なった結果について報告する。

2. 試料の調製

アルミニウム地金は純度 99.8% の新地金を使用し、Mg は 99.8%, Zn は 99.96% で、中間合金には Al-13.1%, Si (不純物 Fe 0.14%), Al-5.3% Ti (不純物 Fe 0.23%), Al-20.15% Cr (不純物 Fe 0.29%), Al-5.07% Be (不純物 Fe 0.13%) 合金を用いた。これらの原料を用いて試料を砂型および金型に鑄造し、引張強さ肉眼および顕微鏡などの試験に供した。溶解はガス炉で行ない黒鉛ルツボを用いた。

砂型試験は第 1 報¹⁾と同様の 4 号試験片を用いた。また金型は JIS 舟型より削り出した 4 号試験片を使用した。

3. 実験結果と考察

3.1 Al-5% Si-0.5% Mg-1% Zn 合金のマクロ組織におよぼすベリリウムの影響

アルミニウム合金におよぼすベリリウムの効果を知るため、まず Al-Be 系二元合金の状態図を研究し、アルミニウム側で包晶反応²⁾を生ずることを明らかにし、Be はアルミニウムの結晶粒を微細化することを示した。また Al-Cu, Al-Mg, Al-Si, Al-Zn の二元合金に Be を 0.1~2% 添加した場合にも、Table 1 のように結晶微細化効果のあることを認めた。

つぎに Al-5% Si-0.5% Mg-1% Zn 合金について、Be を 0.03~2% まで変化させて、金型に鑄造した場合のマクロ組織を Photo. 1 に示す。これによると Be の含有量が増加するにしたがつて、マクロ組織はしだいに微細化され 0.1% で最も微細になり、これより Be の含有量が

Table 1 Grain refinement of various alloys by Be addition.

alloy	Al-Cu				Al-Mg			Al-Si			Al-Zn			
	Cu (%)				Mg (%)			Si (%)			Zn (%)			
Be (%)	1	2	4	5	0.2	0.4	1.0	2	5	8	0.5	1.0	2.0	4.0
0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
0.1	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
0.3	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●	●	●
0.5	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
0.7	●	●	●	●	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○
1.0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2.0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● coarse ○ fine

* 名古屋大学工学部 (名古屋市) Faculty of Eng., Nagoya university (Nagoya)

Photo. 1 Macrostructures of Al-5 % Si-0.5 % Mg-1 % Zn-(0.03 ~ 2 %) Be alloys.

(a) Be 0%	(f) Be 0.5%
(b) Be 0.03%	(g) Be 0.7%
(c) Be 0.05%	(h) Be 1.0%
(d) Be 0.1%	(i) Be 2.0%
(e) Be 0.3%	

増加するとかえつてマクロ組織はしだいに粗大となる。Al-5%Si-0.5% Mg-1% Zn 合金では Be の含有量が0.1%付近で最も微細化される。

3.2 Al-Si-Mg-Zn 合金の引張強さならびにマクロ組織におよぼす溶解条件の影響

この合金について市販溶剤を使つた場合には強度を低

下させ、この合金の特徴が認められない。これには溶剤中に含まれる Na の影響が考えられるので、塩化亜鉛で処理したものと比較して、機械的性質におよぼす Na の影響について検討した。

3.2.1 Al-5% Si-0.5% Mg-(0.7~2.0%) Zn 合金の機械的性質

Zn の含有量を 0.7 ~ 2 % と変化し、これに Be を 0.1 %

Table 2 Effects of melting conditions on mechanical properties of Al-5 % Si-0.5 % Mg-2 % Zn alloys.

Melting Conditions				Mechanical properties		
Be added (%)	Na added (%)	Commercial flux used	ZnCl ₂ used	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation gage length 50 mm (%)	Rockwell hardness (B)
—	0.1	—	—	32.0	2.2	62
0.1	0.1	—	—	31.6	2.7	61
0.1	—	○	—	33.5	1.8	66
—	—	○	—	34.4	2.6	71
0.1	—	—	○	37.2	2.0	70
—	—	—	○	35.6	2.0	66

Fig. 1 Effect of flux treatment on mechanical properties of Al-5% Si-0.5% Mg-(0~2 %) Zn alloy aged at 150 °C for 20 hr after solution treated at 550 °C for 10 hr (sand mould).

Fig. 2 Effect of flux treatment on mechanical properties of Al-5% Si-0.8% Mg-(0~2%) Zn alloy at 150°C for 20 hr after solution treated at 550°C for 10 hr (sand mould).

添加して、塩化亜鉛で処理したもの、市販溶剤で処理したものおよび0.1%のNaを添加したものと、Beは添加せず同様の処理を施したものとを砂型に鋳込みT6処理(550°C, 10 hr 溶体化処理, 150°C, 20 hr 焼もどし)を施した場合の機械的性質を **Fig. 1** に示す。これによればZnの含有量が2%のものについて、溶解条件の機械的性質におよぼす影響をみると **Table 2** のようになる。この合金についてはNaまたは市販溶剤で処理するとZn添加の効果が少なく、引張強さは塩化亜鉛で処理したものにくらべて低く、Beを0.1%添加して塩化亜鉛で処理すれば36~37 kg/mm²の引張強さがえられ、Be添加の安定した効果が認められる。

3.2.2 Al-5% Si-0.8% Mg-(0.7~2%) Zn 合金の機械的性質

前記の場合と同様に試験片製造の条件を変えて、Mg 0.8% の場合について検討した結果を **Fig. 2** に示す。また引張試験後の試験片つかみ部のマクロ組織は**Photo. 2**

Table 3 Effects of melting conditions on mechanical properties of Al-5% Si-0.8% Mg-2% Zn alloy.

Melting Conditions				Mechanical properties		
Be added (%)	Na added (%)	Commercial flux used	ZnCl ₂ used	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation gage length 50 mm (%)	Rockwell hardness (B)
—	0.1	—	—	33.5	1.4	66
0.1	0.1	—	—	35.2	2.0	68
0.1	—	○	—	35.4	2.0	71
—	—	○	—	34.4	2.0	67
0.1	—	—	○	41.7	2.3	66
—	—	—	○	39.5	2.0	72

のようになる。**Fig. 2** のZnの含有量が2%のものについて要約すれば **Table 3** のようになる。溶解時のNaの存在の好ましくない影響とBe添加の効果が一層明瞭に認められ、Beを0.1%添加し塩化亜鉛で処理したものは42 kg/mm²の引張強さがえられる。

3.2.3 Al-5% Si-0.8% Mg-2% Zn 合金のマクロ組織

Photo. 2(a) はナトリウムを0.1%添加したものでNaの添加によりマクロ組織は粗大化する傾向がある。

Photo. 2(b) は0.1%のBeが含有されており、0.1%のNaを添加したもので、Beが存在すればNaを添加しても、マクロ組織の粗大化は阻止される。

Photo. 2(c) は市販溶剤で処理したもので**Photo. 2(a)**と同様粗大化の傾向がある。**Photo. 2(d)** は0.1%のBeが含有されており市販溶剤で処理したものでBeの存在により粗大化は阻止される。**Photo. 2(e)** は塩化亜鉛で処理したもので、マクロ組織は微細である。**Photo. 2(f)** は0.1%のBeを含有しており、塩化亜鉛で処理した

Photo. 2 Macrostructures of Al-5% Si-0.8% Mg-2% Zn alloy.

- (a) 0.1% Na added.
- (b) 0.1% Be and 0.1% Na added.
- (c) Commercial flux used.
- (d) Commercial flux treated after 0.1 Be addition.
- (e) ZnCl₂ used.
- (f) ZnCl₂ treated after 0.1% Be addition.

もので、**Photo. 2 (e)** よりさらに微細化されている。

写真の結果を総合するとこの合金を Na または市販剤で処理すればマクロ組織を粗大化するに對し (**Photo. 2 (a), (c)**), 塩化亜鉛で処理すれば微細であり, Be が 0.1 % 存在すれば Na または市販溶剤で処理してもある程度粗大化を阻止しうる。Be を 0.1% 添加し塩化亜鉛で処理すればマクロ組織は最も微細化される。

つぎにこの合金を Na または Na を含有する溶剤で処理した場合に強度を低下することについてはつぎのように考える。Al-6% Zn-0.8% Mg 合金に Na を添加したものと添加しないものについて、500°C で 10 hr 溶体化処理し、水冷したものを、100, 150 および 200°C で焼もどしてかたさを測定し、時効硬化におよぼす Na の影響を求めた。その結果各温度における時効硬化の様子をみると、Na で処理した合金は Na で処理しない合金よりもかたさは常に低くなる傾向がある。このことは Na を含有する Al-6% Zn-0.8% Mg 合金を高温より焼入れすると凍結空孔の濃度を減少しこれを時効すると溶質原子の G.P. ゾーンの形成を遅らすものと考えられる。これと同様な現象が Al-Zn 合金あるいは Al-Zn-Mg 合金に Ca を添加した場合の Ca の影響として報告³⁾⁴⁾されている。そのため Al-Si-Mg-Zn 合金においても、Na を微量含有しておれば同様に析出硬化要素に影響を与え、強度を低下したものと考えられる。

つぎに顕微鏡組織についての結果を示す。**Photo. 3(a), (b), (c), (d)** は Al-5% Si-0.8% Mg-2% Zn 合金で (a) は 0.1% の Na を添加した場合、(b) は市販溶剤で処理した場合、(c) は 0.1% の Be を含有し、塩化亜鉛で処理した場合、(d) は塩化亜鉛で処理した場合である。(a) と (b) は改良組織になつてはいるが、結晶粒の大きさはいずれについてもほとんど変化はみられない。

Photo. 3 Microstructures of Al-5 % Si-0.8 % Mg-2 % Zn alloy.

- (a) 0.1% Na treatment.
- (b) Commercial flux treatment.
- (c) ZnCl_2 treated after 0.1% Be addition.
- (d) ZnCl_2 treatment.

3.3 Al-Si-Mg-Zn 合金の機械的性質におよぼす Ti, Cr および Be 添加の影響

従来の研究では砂型試験片を用いて来たので、この系統の合金の急冷効果を知るため、金型試験片により T 6

Fig. 3 Effect of addition of Ti, Cr, and Be on mechanical properties of Al-5% Si-0.5% Mg (0.5 ~ 2%) Zn alloys aged at 150°C for 30 hr after solution treated at 550°C for 3 hr (metallic mould).

Fig. 4 Effect of addition of Ti, Cr, and Be on mechanical properties of Al-5% Si-0.5% Mg-(0.5 ~ 2%) Zn alloy aged at 150°C for 20 hr after solution treated at 550°C for 10 hr (metallic mould).

Fig. 5 Effect of addition of Ti, Cr, and Be on mechanical properties of Al-5% Si-0.5% Mg-(0.5~2%) Zn alloy aged at 100°C for 50 hr after solution treated at 550°C for 10 hr (metallic mould)

処理を施した場合の機械的性質におよぼす Ti, Cr および Be の影響を求めた。

3. 3. 1 Al-5% Si-0.5% Mg-(0.7~2%) Zn 合金の場合

Fig. 3 は 550°C で 3 hr 溶体化処理し、150°C で 30 hr 焼もどし引張試験を行なった結果を示す。引張強さは Be, Cr および Ti の各単独に添加したもの、ならびに Ti と Be, Cr と Be をそれぞれ併用して添加したものは、Al-5% Si-0.5% Mg-(0.7~2%) Zn の標準組成のものと比較していくらか改善されるものもみられるが、Zn を 2% 含有し、Be を 0.1~0.3% 含有せるもの、Cr を 0.3% 含有せるものおよび標準組成の合金は 37 kg/mm² の強さがある。これらの合金では耐力は 30~32 kg/mm² である。伸びについては Cr を含有せる合金はやや低い、標準組成の合金、Be および Ti を含有せる合金は 4~8% となる。

Fig. 4 は 550°C で 10 hr 溶体化処理し、150°C で 20 hr 焼もどし引張試験を行なった結果を示す。引張強さおよび耐力については、溶体化処理を 550°C で 10 hr 行なったものと、3 hr 行なったものとはほぼ同様の値がえられるが、伸びは前者では 6~10% となり、溶体化処理を 10 hr 行なった方が高い値がえられる。

Fig. 5 は 550°C で 10 hr 溶体化処理し、100°C で 50 hr 焼もどし引張試験を行なった結果を示す。いずれの合

Fig. 6 Effect of addition of Ti, Cr, and Be on mechanical properties of Al-5% Si-0.8% Mg-(0~2%) Zn alloy aged at 150°C for 20 hr after solution treated at 550°C for 10 hr (metallic mould).

金も Zn の含有量が高い方が引張強さおよび耐力は高くなる傾向を示すが、それらの値は全般に低く前述の熱処理条件にくらべて特に耐力では著しい差がある。しかし伸びは 10~20% となり高い値がえられるが、数値はちらばっており Be のほかに Ti または Cr を併用添加した合金の値が低い結果となっている。

3. 3. 2 Al-5% Si-0.8% Mg-(0.7~2%) Zn 合金

Fig. 6 は 550°C で 10 hr 溶体化処理し、150°C で 20 hr 焼もどしし、引張試験を行なった結果を示す。引張強さは、Be, Cr および Ti を各単独に添加したものと Al-5% Si-0.8% Mg-(0.7~2%) Zn の標準組成のものを比較すると、Ti を含有する合金を除きはなほだしい差はないが、Zn を 2% 含有し、Be を 0.1% 含有せるもの、Cr を 0.3% 含有せるものおよび標準組成の合金は 39~41 kg/mm² の引張強さがある。これらの合金では耐力は約 34 kg/mm² である。伸びについては Be を含む合金の値がやや高くなる。

これらの合金にくらべ Ti を含有する合金は引張強さも耐力もややおとる。

以上のように常温における機械的性質においては砂型では Be の特性がよく現われるが、金型では特に著しい効果は見られず、ベリリウムを含有する合金では伸びの値がいくぶん高くなる。

4. 結 論

(1) Al-5% Si-0.5% Mg-1% Zn 合金のマクロ組織は Be 含有量の増減によって変化し、0.1% Be の添加によって最も微細となる。

(2) Al-5% Si-(0.5~0.8%) Mg-(0.7~2%) Zn 合金に

0.1%の Be を添加し塩化亜鉛で処理したものはマクロ組織は微細化され、砂型で T 6 処理したもので引張強さ 42 kg/mm² で伸び 2% のものがえられ、金型よりも砂型の方が Be 添加によつて引張強さを改善する効果が見られる。またこの合金では Na が含有されるとマクロ組織は粗大となり、引張強さを低下する傾向がある。金型試験片と砂型試験片では引張強さ、耐力およびかたさにおいては差はほとんど見られないが、伸びは金型試験片の方が高くなっている。

(3) Al-5% Si-(0.5~0.8%) Mg-(0.7~2%) Zn合金に Be, Cr, Ti の個別添加および Ti と Be, Cr と Be とをそれぞれ併用添加した場合に金型試験片の引張強さと耐力では、添加元素の差違による影響はあまり見られないが、伸びでは Be を添加したものがやや高い値がえられ

た。

(4) 熱処理法としては溶体化処理時間の長い方が性質が安定しており、また焼もどし温度は 150℃ と 100℃ の場合前者は引張強さで高い値がえられ、後者では伸びが高くなる。

本研究に当たり地金を提供下さいました日本軽金属株式会社および株式会社神戸製鋼所名古屋工場に対し深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 西，篠田：軽金属，No. **81** (1967), 27.
- 2) 西，篠田：軽金属，No. **78** (1966). 5.
- 3) 馬場：住友軽金属技報，**8** (1967)，88.
- 4) 馬場：住友軽金属技報，**8** (1967)，228.