

## 半溶融成形したAl-Si-Mg系合金鋳物の引張特性に及ぼすSi量の影響

材料科 材料スタッフ 岩澤 秀\* 松野正幸\*\*  
株式会社浅沼技研 上久保佳則 杉浦泰夫

## Influence of Si content on tensile properties of an Al-Si-Mg system casting alloys produced by semi-solid forming process

Shigeru Iwasawa, Masayuki Matsuno, Yoshinori Kamikubo and Yasuo Sugiura

Semi-solid forming process offers excellent features with high quality and light weight of aluminum casting parts. In this work, we produced Al-X(X=2,4,6 and 7)%Si-0.5%Mg casting alloys by semi-solid forming process. The macro-and micro structures, hardness and tensile properties of each castings were investigated. Tensile strength and 0.2% proof stress increase and elongation decrease with increase Si contents. The 4%Si alloy exhibits equal fluidity to 7%Si alloy. The 2% and 4%Si alloys can be fabricated by Semi-Solid forming process.

## 1. はじめに

完全な溶融状態の液体金属を扱う既存の鋳造法とは異なり、固体と液体が共存した、いわゆる半溶融状態の金属材料を加圧成形する半溶融成形法は、従来のアルミニウム合金鋳造法に比べて内部欠陥の低減、高強度・高延性化が達成されることから、高品質アルミ鋳物の製造法として注目されている。

半溶融成形法に使用される合金組成は、鋳造性が良く、中強度・高延性のAC4C系の亜共晶組成の鋳造用Al-Si-Mg系合金が用いられることが多い一方で、Al-Si-Mg系合金の主要添加元素量と鋳造性および機械的性質の関係を調べた研究例はほとんど無い。昨今では、部材の軽量化に伴う鋳物品質の向上に加え、鋳物の高強度化、高延性化および疲労強度の向上といった要望も高まりつつあり、合金材質の開発も必要不可欠となっている。このため半溶融成形法に適した合金組成を調べることは、プロセス開発として重要な研究課題の一つである。これまで、著者らはMg量を0.25%から0.75%まで変化させたAl-7%Si-Mg系合金の半溶融成形鋳物の機械的性質に及ぼすMg量の影響を調べた結果、従来の鋳造法に比べて高強度・高延性化を達成することが出来た。本研究では、Al-Si-Mg系合金のもう一つの主要添加元素であるSiについて、半溶融成形により製造した鋳物の引張特性に及ぼすSi量の影響について調べた。

## 2. 試験方法

## 2. 1 試料の作製

各合金の目標Si量は、2%、4%、6%および7%とした。金属素材（ピレット）の溶解・鋳造は、AC4CHインゴット及び純アルミニウムを電気炉内に設置したアルミ換算10kg容量の黒鉛坩堝に挿入し、約720℃で溶け落ち後、フラックスによる脱滓、成分調整およびアルゴンガスによる脱ガスを行い、内径100mmの鉄製容器に鋳造した。共晶Si相の改良処理はAl-10%Sr母合金を用いて、Sr量150ppm程度を目標として添加した。

半溶融成形品の製造は、直径100mmの丸棒の金属素材を高周波誘導加熱装置にて室温から半溶融温度まで加熱して半溶融成形スラリー状態とした後、約200℃の金型に射出成形した。半溶融温度は、2%Si合金では635℃、4%Si合金では615℃、6%Si合金では595℃及び7%Si合金では580℃とした。成形圧力は30MPa、射出速度は200mm/sとした。金型は、幅30mm、長さ120mmで肉厚がそれぞれ25mm、15mm、10mmおよび5mmの多段型を用いた。得られた鋳物を540℃、6時間の溶体化処理後、160℃、6時間の人工時効処理を施した。

## 2. 2 組織および機械的性質

鋳物の各肉厚部においてT6材の硬さ測定、引張試験を行い、引張特性に及ぼすSi量の影響について

\*) 現 金属材料科   \*\*) 現 沼津工業技術支援センター

調べた。鑄放しのまま材及び熱処理材の初晶 $\alpha$ 相、共晶Si相およびFe系化合物相の形態を光学顕微鏡観察により調べた。

### 3. 試験結果

#### 3.1 鑄物の化学組成

得られた鑄物の主要化学成分を表1に示す。

表1 合金の主要化学成分 (mass%)

合金	Si	Mg	Fe	Al
2%Si	1.9	0.46	<0.1	Bal.
4%Si	3.6	0.42	<0.1	Bal.
6%Si	5.7	0.42	<0.1	Bal.
7%Si	6.6	0.49	<0.1	Bal.

#### 3.2 多段型鑄物の外観および組織

多段型鑄物の外観を図1に示す。図2には、2%Si合金及び6%Si合金の鑄物断面のマクロ組織を示す。凝固収縮による引け、ガス孔及び偏析などの内部欠陥はほとんど認められず、特にSi量を減らした2%Si合金においても健全な品質の鑄物を製造することが出来た。



図1 多段型鑄物の外観および断面のマクロ組織

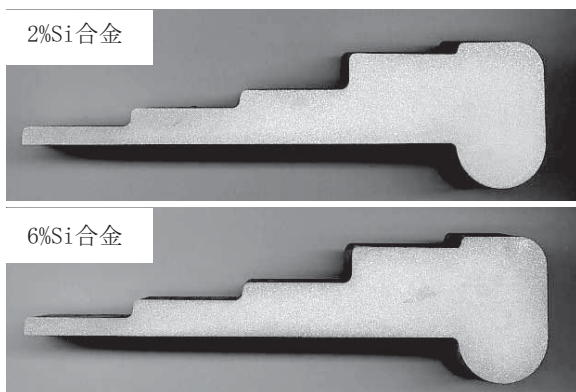


図2 鑄物断面のマクロ組織

### 【報告】

図3には、それぞれの合金の肉厚10mm部のミクロ組織を示す。いずれも粒状の初晶 $\alpha$ 相（白い部分）とそのまわりを共晶部分（灰色の部分）が取り囲んでいる。Si量が多いほど共晶部分が多くなるのがわかる。共晶部分は、図4に見られるように共晶反応により晶出した $\alpha$ 相とSr添加による改良及び加圧凝固による急冷効果により微細に晶出した共晶Si相から構成される。それぞれの合金のT6材のミクロ組織を図5に示す。溶体化処理により共晶Si相は、丸みを帯びるようになる。

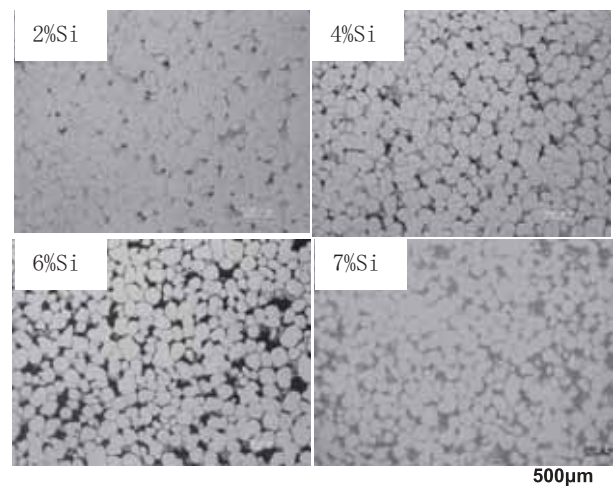


図3 ミクロ組織 (肉厚10mm部)

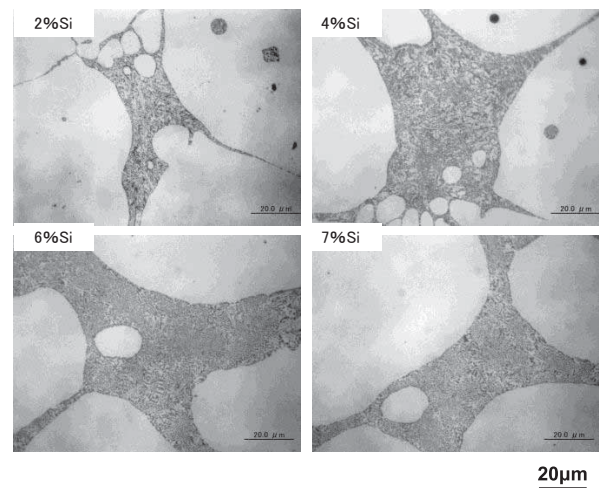


図4 共晶部分のミクロ組織

#### 3.3 特性

図6に各合金の母相の硬さ測定結果を示す。鑄放し (as-cast) では、Si量が多くなるにつれて硬さは増加する。これは、母相に固溶するSi量の違いに

【報告】

よるものと考えられる。すなわち半溶融成形する時のピレット加熱温度がSi量の多いほど低く、Siの最大固溶限に最も近いSiを固溶できるためと考えられる。T6処理を施すことで析出硬化により母相は強化し、硬さは向上するが、どのSi量の合金ともほぼ同じ硬さ値を示した。

図7及び図8に鑄放し材並びにT6材の引張試験結果をそれぞれ示す。鑄放し材において、Si量の増加に伴い引張強さ及び0.2%耐力は向上する。特に2%から4%にSi量が増えると強度特性の向上が大きく、それ以上のSi量ではほぼ漸近した。一方、伸びはSi量の増加に伴い減少するものの、7%Si合金において18%の伸びを示した。共晶Si相の粒状化及び母相が時効析出硬化したT6材の引張特性においては、鑄放し材と比べて引張強さ及び0.2%耐力は、大きく向上し、伸びは低下する。Si量との関係では、鑄放し材と同様な傾向を示し、Si量の増加に伴い強度特性が向上し、伸びは低下する。2%から7%までSi量を変化させることで引張強さが305N/mm<sup>2</sup>から340N/mm<sup>2</sup>、伸びが20%から12%までの特性が得られることがわかった。図9には、引張破断面近傍のミクロ組織写真を示す。破壊は、主にSi粒子と母相界面近傍を伝播している。2%Si合金では、Si粒子量が少なく、Si粒子間距離が最も長い。そのために軟らかいα相が延性を担い、伸びが向上したと考えられる。

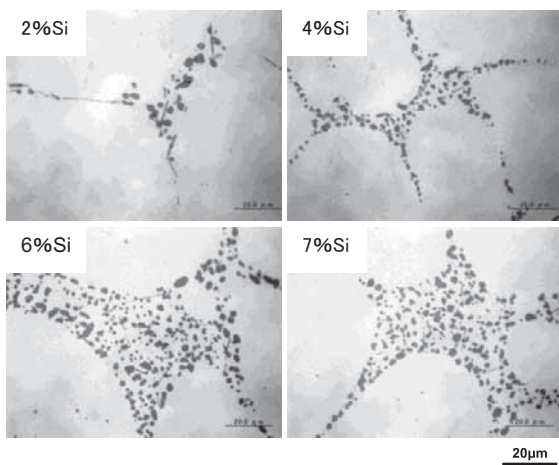


図5 T6材のミクロ組織

3. 4 実製品を用いた試作評価

図10には、実製品形状金型による試作品の外観写真を示す。いずれも外観欠陥は認められない。図11

に断面のマクロ組織を示す。どの合金においても鑄造欠陥は、ほとんど認められず、均一な組織であった。特に2%Si合金においても外部及び内部は健全であった。このことから2%までSi量を低下させた合金を用いても半溶融成形は、十分可能であることがわかった。

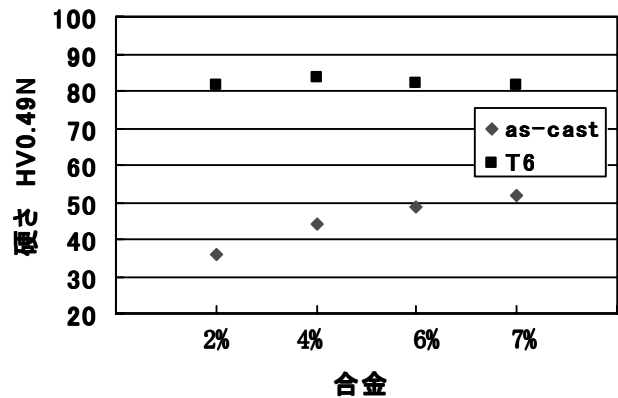


図6 硬さ測定結果

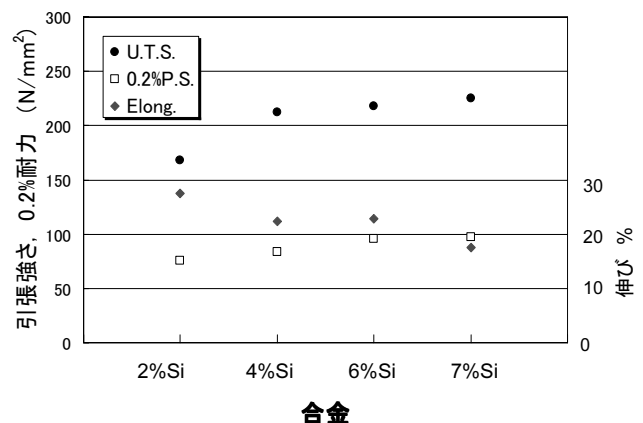


図7 鑄放し材の引張試験結果

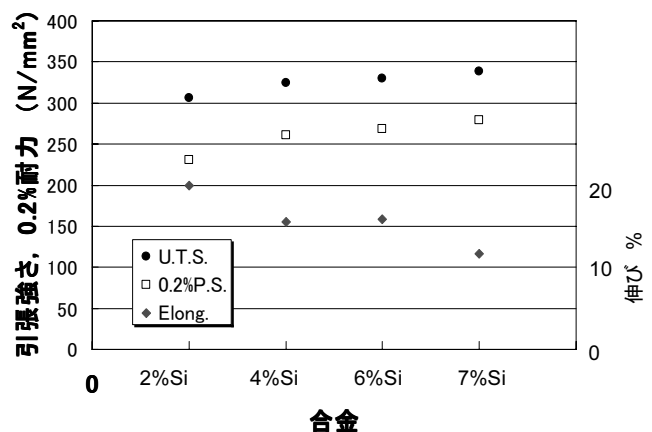


図8 T6材の引張試験結果結果

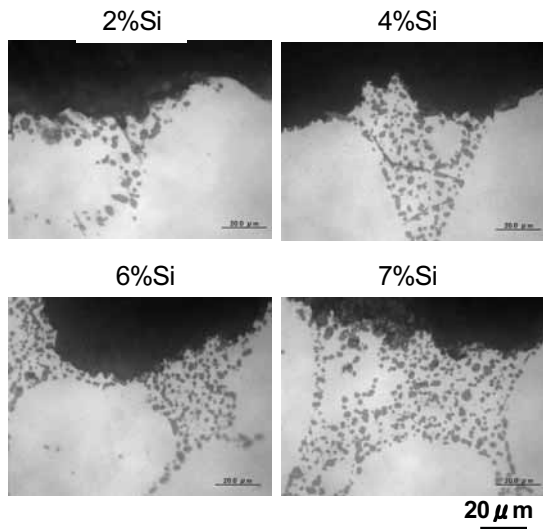


図9 引張破断面近傍のマイクロ組織

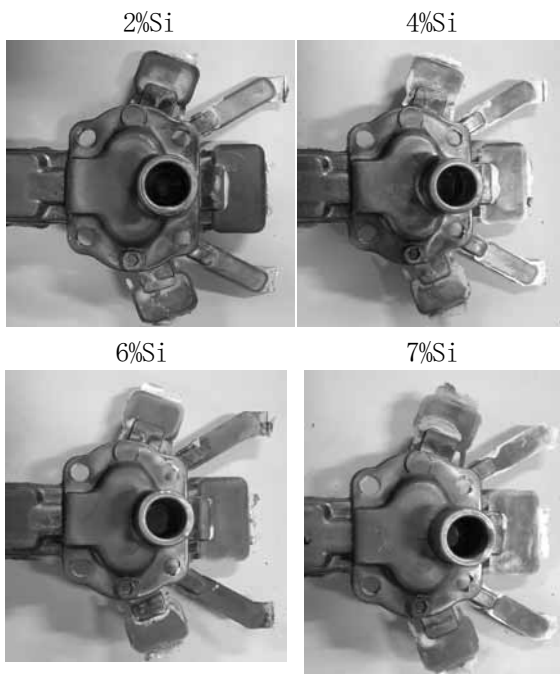


図10 試作品の外観写真

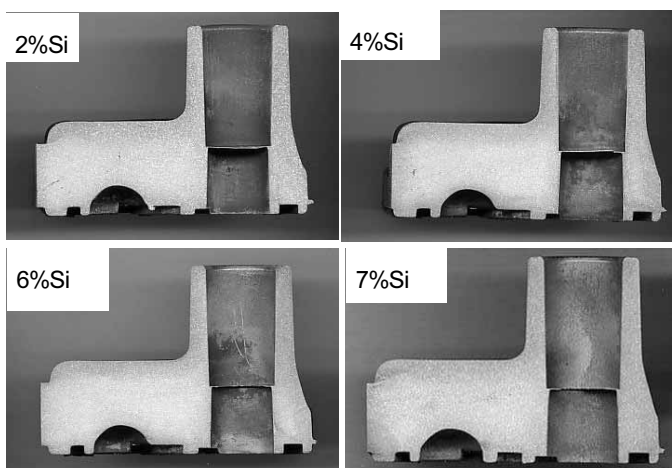


図11 断面のマクロ組織

#### 4. まとめ

Si量を2%から7%まで変化させたAl-Si-Mg系合金について半溶融成形を試みて、得られた鋳物の特性を調べた。

(1) 粒状の初晶 $\alpha$ 相と微細な共晶組織とからなる2% - 7%Si合金の半溶融成形鋳物を成形することが出来た。

(2) Si量の増加にともない、強度および延性が変化する。

合金	引張強さ	0.2%耐力	伸び
2%Si-T6	307N/mm <sup>2</sup>	231N/mm <sup>2</sup>	20%
7%Si-T6	338 N/mm <sup>2</sup>	279N/mm <sup>2</sup>	12%

(3) SiおよびMg量を組み合わせることで機械的性質を様々に変化させることが出来、製品機能に応じて(規格範囲外)合金組成を選択出来る可能性がある。