

半溶融成形した Al-7%Si 系合金鋳物の引張特性に及ぼす Mg 量の影響

材料科 材料スタッフ 岩澤 秀 大竹正寿
株式会社浅沼技研 上久保佳則 杉浦泰夫

Influence of Mg Content on Tensile Properties of Al-7%Si System Casting Alloys Produced by Semi-Solid Forming Process

Shigeru Iwasawa, Masatoshi Otake,
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-7%Si-0.28~0.72%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 Mg contents. Al-7%Si-0.57%Mg alloy exhibits over 320N/mm^2 in tensile strength and 14% in elongation.

1. はじめに

半溶融成形法は、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、いわゆる半溶融成形状態の金属材料を加圧成形するプロセスである。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数年来注目されてきた。

ところで、半溶融成形法に使用される金属素材の材質においては、鋳造性と機械的性質のバランスが比較的良い AC4CH あるいは 357 合金のような既存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。しかしながら、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ニーズも急速に拡大しつつあり、合金材質の開発も必要不可欠となっている。そういう背景の中、本研究では、半溶融成形法に適した合金組成を調べることを目的として、鋳造性の良い Al-7%Si 合金をベースとし、Mg 量を 0.25% から 0.75% まで変化させた半溶融成形鋳物を製造して、機械的性質に及ぼす Mg 量の影響を調べるとともに、多段型を用いて肉厚に対する機械的性質の変化、肉厚感度についても検討した。

2. 試験方法

2.1 試料の作製

金属素材(ビレット)の溶解・鋳造は、AC4CH インゴット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。Mg は、歩留まり 90% として見積もって添加した。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。また比較材として舟金型重力鋳造品も製造した。

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約 580℃ 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。その際の成形圧力は 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 535℃、8 時間の溶体化処理後、155℃、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、機械的性質に及ぼす Mg 量の影響及び肉厚感度について調べた。鋳放しのまま材及び熱処理材の初晶 α 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、画像解析ならびに EPMA により調べた。

3. 試験結果

3.1 鋳物の化学組成

得られた鋳物の化学組成は、Al-7%Si-0.28%、0.30%、0.45%、0.57%、0.68%、0.72%Mgであった。(以下、0.28%Mg、0.30%Mg、0.45%Mg、0.57%Mg、0.67%Mg および 0.72%Mg 合金と称す)

3.2 多段型鋳物の外観および組織

多段型鋳物の外観および断面のマクロ組織を図1に示す。凝固収縮による引け、ガス孔および偏析などの内部欠陥はほとんど認められず、健全な品質の鋳物を製造することが出来た。

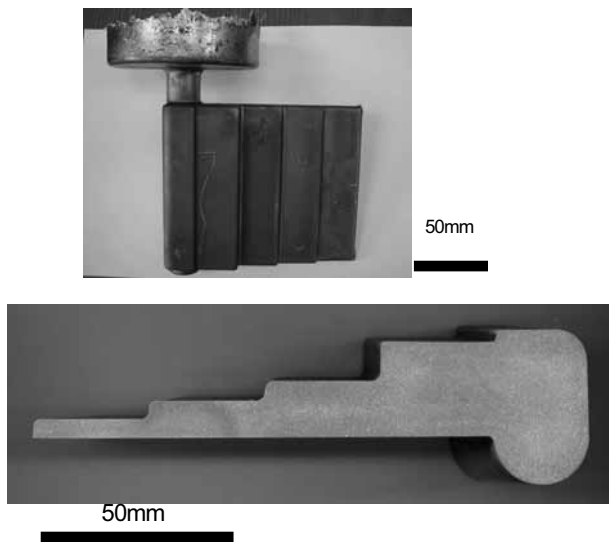


図1 多段型鋳物の外観および断面のマクロ組織

図2に低倍率および図3に高倍率の0.57%Mg合金鋳放しのまま材の各肉厚部のマイクロ組織をそれぞれ示す。他合金のマイクロ組織も同様であった。いずれも粒状の初晶 α 相とその間隙に共晶反応により晶出した共晶組織から構成される。初晶 α 相の大きさは、肉厚によって変化しない。これは、半溶融成形状態で固相部分の初晶 α 相が、成形時においてもそのままの形状が保持されるためである。図3に示すように共晶Si相は、肉厚が厚くなるにつれて、粗大になる傾向が認められる。これは、肉厚が厚いと液相部分である共晶部分の凝固時の冷却速度が小さくなるためである。T6処理を施した0.57%Mg合金のマイクロ組織を図4に示す。溶体化処理により共晶Si相は、その面積を減じるとともに、形状は粒状になる。肉

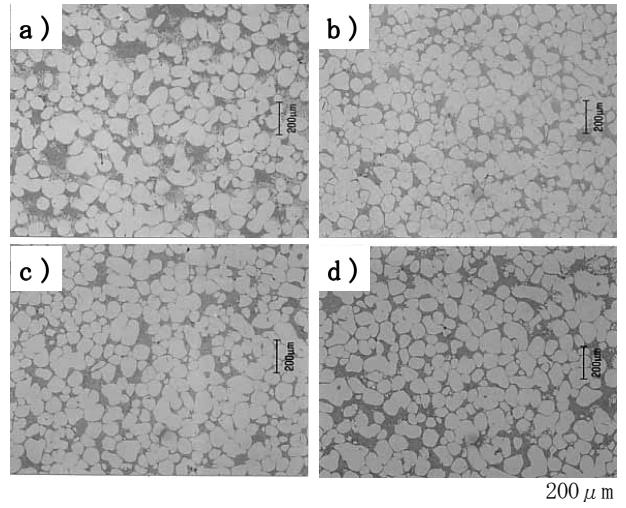


図2 0.57%Mg合金の鋳放しのまま材のマイクロ組織
a)肉厚5mm、b)肉厚10mm、c)肉厚15mm、d)肉厚25mm

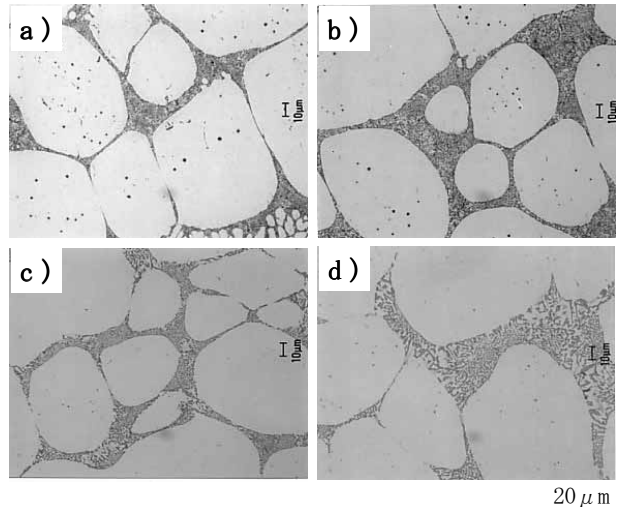


図3 0.57%Mg合金の鋳放しのまま材のマイクロ組織
a)肉厚5mm、b)肉厚10mm、c)肉厚15mm、d)肉厚25mm

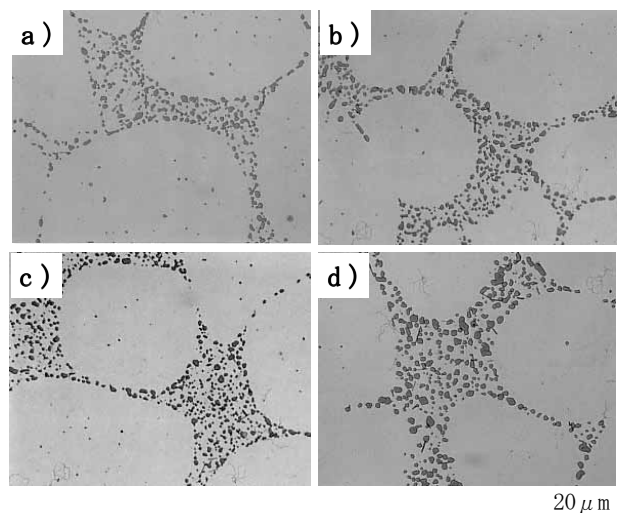


図4 0.57%Mg合金のT6材のマイクロ組織
a)肉厚5mm、b)肉厚10mm、c)肉厚15mm、d)肉厚25mm

厚の増大とともに共晶 Si 粒子の大きさは、若干小さくなった。

3.3 機械的性質

Mg 量と硬さの関係を図 5 に示す。Mg 量の増加により、硬さ値も向上する。これは、Mg 量が多いほど母相の析出量が多いためである。しかし 0.68%Mg 以上では硬さは漸近した。またいずれの合金において肉厚と硬さには相関関係が認められず、ほぼ同一の硬さを示した。

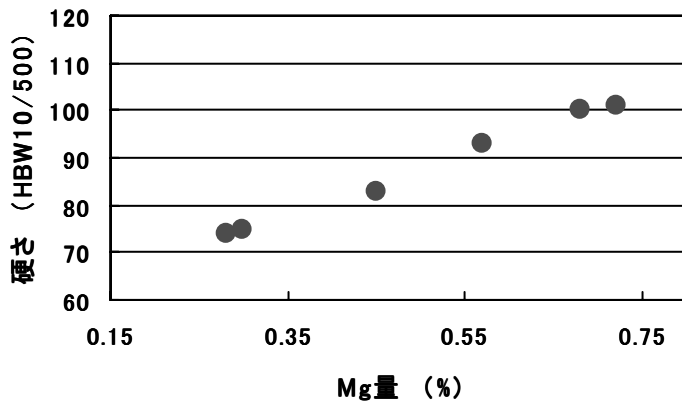


図 5 Mg 量と硬さの関係

図 6 に T6 材の引張特性を示す。0.35%Mg 合金では、引張強さ、0.2%耐力および伸びは、それぞれ 267N/mm²、225N/mm²および 20%、0.75%合金では、それぞれ 339 N/mm²、305 N/mm²ならびに 11%と、Mg 量の増加に伴い強度は向上し、伸びが低下した。この強度の向上は、Mg 量の増加に伴い析出量が多くなり、母相の強度が高まったためと考えられる。Mg 量が 0.68%以上では、硬さと同様に強度も漸近する傾向が認められた。このことから強度を向上させるために添加する Mg 量は 0.65%程度が最大限であると思われる。一方、舟金型との比較では、いずれの Mg 量合金とも半溶融成形の方が強度および伸びは優れており、とくに伸びは 2 倍程度示す。従来の普通鋳造品に比べて高強度・高延性化が可能であることが明らかとなった。

引張特性に及ぼす肉厚感度の影響を図 7 に示す。普通の重力鋳造では、肉厚が厚くなり凝固速度が遅くなると共晶 Si 相および Al-Fe 系化合物が粗大になり、変形時において応力集中を引き起こし、引張特性とくに伸びや衝撃値が著しく低下する。すなわち機械的性質に対する肉厚感度が問題となることが多い。しかし図 7 に示すように半溶融成形では、0.30%Mg 合金および 0.72%Mg 合金とも肉厚が 5mm から 25mm に厚くなって

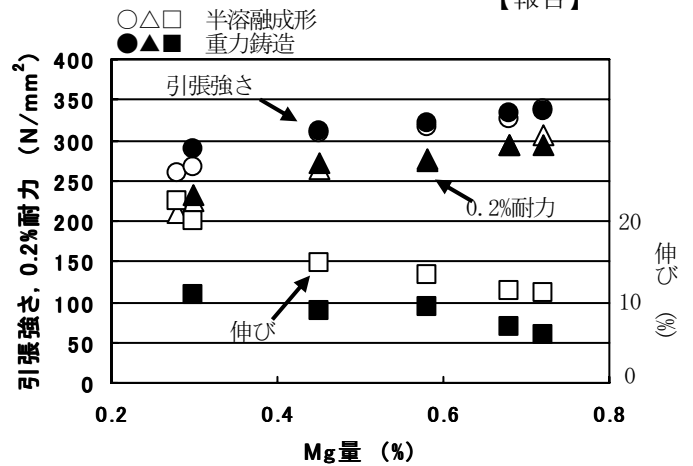


図 6 T6 材の引張特性

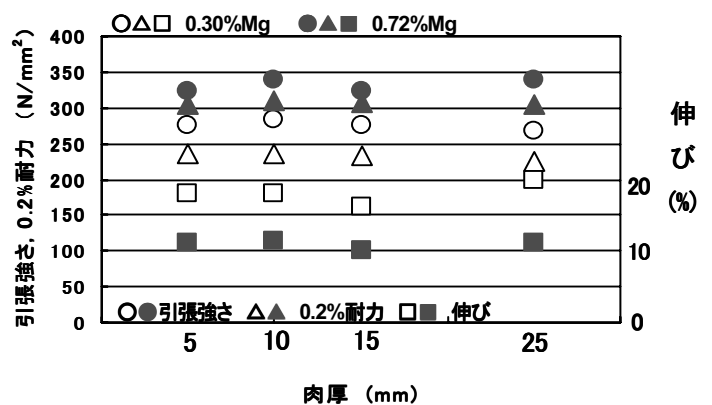


図 7 引張特性に及ぼす肉厚感度の影響

も引張特性は、ほとんど変わらない。すなわち引張特性に対する肉厚感度は、非常に鈍感であることがわかった。

3.4 Si 粒子および Al-Fe 系化合物相の性状

本系合金の機械的性質は、共晶 Si 粒子、Al-Fe 系化合物相の性状に大きく影響されることが知られている。そのため、これらの晶出相の性状と機械的性質の関係を調べた。表 1 に T6 処理材の Si 粒子の大きさを調べた結果を示す。Si 粒子の平均の大きさは、重力鋳造では 3.47 μm であるのに対して半溶融成形では、肉厚が異なっても 2.40 μm~2.70 μm と微細である。上述のように重力鋳造では、製品肉厚が厚く凝固時の冷却速度が遅い場合、共晶 Si 相は粗大になるが、本研究における肉厚の範囲内では、半溶融成形品の共晶 Si 粒子の大きさは肉厚にあまり影響されないことがわかった。以上のように重力鋳造品に比べて優れた引張特性を示す半溶融成形品の組織的特長の一つは、Si 粒子が微細であるためであり、肉厚感度が鈍感であるのは、半溶融成形では肉厚に対

する Si 粒子の性状の変化が小さいことによるものと考えられる。

表1 共晶 Si 粒子の大きさ

製法	肉厚(mm)または型温 (°C)	Si 粒子の大きさ (μm)
半熔融成形	5mm	2.40
	10mm	2.59
	15mm	2.53
	25mm	2.69
重力铸造	150°C	3.47

図8に半熔融成形および重力铸造品の0.57%Mg合金-T6材のマイクロ組織を示す。いずれにも矢印に示すように薄灰色の針状および塊状の化合物相が観察されるが、半熔融成形に比べて重力铸造の方が、粗大に晶出している。両品のEPMA分析結果を図9に示す。いずれもFeとMgの同調した濃縮部分が認められる、マイクロ組織で観察された粗大な薄灰色の化合物相は、Al-Fe-Mg系化合物相であると考えられる。半熔融成形に比べて重力铸造では、その数が多く、形状も粗大である。共晶Si粒子と同様にAl-Fe-Mg系化合物相も凝固速度が遅いと粗大に晶出し、変形に対して応力集中を引き起こし、亀裂発生の原因となる。重力铸造では、金型温度が高い場合や厚肉部など凝固が遅い部分では、Si相に加えFe系化合物相も粗大になり特性劣化の原因になる。しかし、凝固時の冷却速度が速い半熔融成形では、微細に晶出するために機械的性質、とくに伸びの劣化にほとんど影響を与えない。このことも半熔融成形では、肉厚感度が鈍感である要因の一つであると考えられる。

4. まとめ

1. Mg量の増加に伴って強度が向上し、伸びが低下する。0.30%~0.7%にMg量を変化させることで引張強さ、0.2%耐力および伸びは、それぞれ250N/mm²~350N/mm²、200N/mm²~300N/mm²ならびに11%~23%の特性が得られた。
2. 半熔融成形では、肉厚感度が鈍感であることがわかった。これは、凝固時の冷却速度が速いため晶出相が微細に晶出するためである。

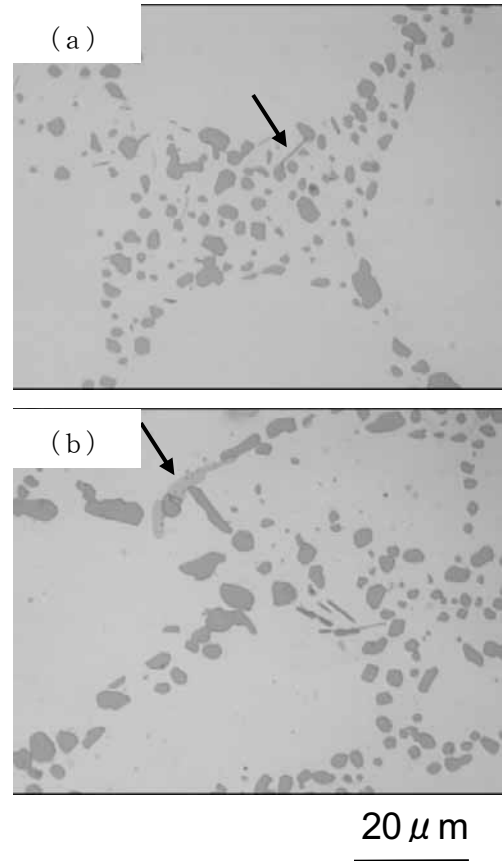


図8 T6材のマイクロ組織 (a) 半熔融成形 (b) 重力铸造

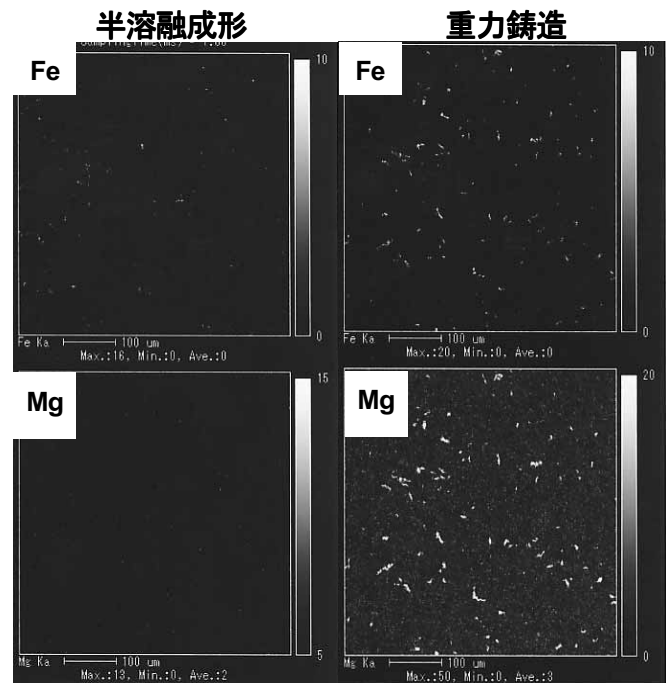


図9 EPMA分析結果