

半溶融成形法を適用した高放熱性鋳造合金の開発

機械科 岩澤 秀 大澤洋文 針幸達也 宮原鐘一*
 材料科 長津義之
 株式会社浅沼技研 上久保佳則 高橋正詞 山本健介 杉浦泰夫

Development of high thermal conductivity casting alloy produced by semi-solid forming process

Shigeru IWASAWA, Hirofumi OOSAWA, Tatsuya HARIKOH, Shoichi MIYAHARA,
 Yoshiyuki NAGATSU, Yoshinori KAMIKUBO, Masashi TAKAHASHI, Kensuke YAMAMOTO
 and Yasuo SUGIURA

Nowadays semi-solid process has been noticed as the casting method that offers a light weight, high quality, performance and reliability aluminum casting parts. In this study, in order to obtain high thermal conductivity aluminum casting alloy, the effects of Si and Mg content, furthermore some heat treatments on thermal conductivity of several Al-Si-Mg system casting alloys with varying Si and Mg contents prepared by semi-solid process were investigated. An increase in the Mg content, from 0.25% to 0.75% produced a negative effect on thermal conductivity of the as-cast alloys. The thermal conductivity decreased with an increase in Si content in the as-cast condition, however, became to almost constant above 6% of Si content. It was found that both T5 and T6 heat treatments improved the thermal conductivity of alloys. For Al-2-7%Si-0.5%Mg alloys, aged at 250°C for 2hours of T5heat treatment resulted in greater 10% or more thermal conductivity as compared to the as-cast alloys. Furthermore, with higher ageing temperature and prolonged ageing time, namely ageing at 350°C for 9hours, thermal conductivity values of T5 and T6 treated Al-4%Si-0.5%Mg alloys reached to 200 and 196W・m⁻¹・K⁻¹ respectively. These values are 70% higher than those of die-cast alloy and comparable to Al-Si-Mg wrought alloy. It is reveals that semi-solid process offers high thermal conductivity aluminum casting alloy parts.

Keywords : Semi-solid forming, aluminum alloys, heat treatment, thermal conductivity.

キーワード：半溶融成形、アルミニウム合金、熱処理、熱伝導率。

1 はじめに

最近では、輸送機器分野においてハイブリッド自動車や電気自動車の普及、電気機器分野においても高性能LEDの発展など電気パワーデバイスの普及が著しい。とくにパワーデバイスの高性能化・高密度化・小型化などによる発熱密度の増加に伴う熱対策が急務な課題の一つとなっている。ヒートシンクは、蓄熱した熱を放散させる手段として広く使われており、性能向上、軽量化、複雑形状及び大型化への対応などその要求レベルも高まっている。

ヒートシンクには、アルミニウム合金が多く使われ、とくに複雑形状、大型のヒートシンクは、主にコストパフォー

マンスの良いダイカストにより製造されている。しかしながら、ダイカストでは、合金材質の制限、鋳造欠陥、熱処理できないなどにより鋳物の熱伝導率を向上させることに限界があるのが実情である。複雑形状の高放熱性ヒートシンクを製造するためには、熱伝導率の高い鋳物合金が必要となっている。

半溶融成形法は、完全な溶湯を鋳型に流し込んで固化させる従来の鋳造法とは異なり固相と液相が共存した半溶融温度領域の金属材料を金型に挿入して、加圧成形するプロセスである¹⁾。この方法は、ダイカストに比べて鋳物品質、機械的特性などの向上が期待できる。また、合金材質の選択が比較的容易、熱処

*) 現 環境衛生科学研究所

理可能であることから、要求される製品ニーズに柔軟に対応することが可能であると考えられる。そこで、放熱性の高いヒートシンクの開発を目指して、まず半溶融成形法を適用して高い熱伝導率をもつ鋳物合金の開発を目的とした。

本研究では、半溶融成形法で最も多く使用されるAl-Si-Mg系のAC4CH (Al-7mass%Si-0.4mass%Mg) 合金をベースに熱伝導率に及ぼすSi (けい素) 量及びMg (マグネシウム) 量、熱処理の影響について調べた。

2 方法

2.1 鋳物作製及び熱処理

半溶融成形鋳物の製造は、半溶融成形用に作製した直径100mm、高さ120mmの円柱状丸棒を用いて高周波誘導加熱装置にて半溶融温度まで加熱した後、120トン油圧プレスに取り付けた段付金型に挿入・加圧した。得られた段付鋳物を図1に示す。鋳物は、Al-2、4、6及び7 mass%Si-0.5mass%Mg合金（以降mass%は%）、Al-7 %Si-0.25、0.35、0.45、0.55、0.65及び0.75%Mg合金の10種類とした。

成形後の鋳物（以降as-cast材と称す）について①T4 (540℃×2h保持後水冷(W.Q.)又は空冷(A.Q.))、②T5 (250℃×2-4h又は350℃×9h)、③T6 (540℃×4hの溶体化処理後、室温で16h+160℃×6hの垂時効処理したT6 (U.A.) 材または250℃×4hの過時効処理したT6 (O.A.) 材及び④T7 (540℃×4hの溶体化処理後、室温で16h+160℃+350℃×9h) の各熱処理を施した。熱処理工程を図2に示す。

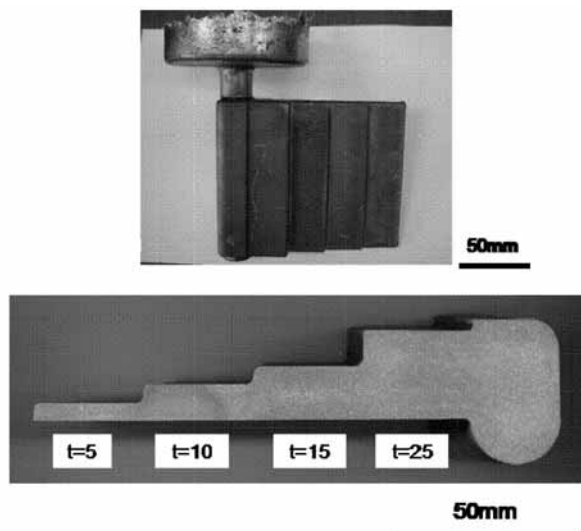


図1 半溶融成形した段付鋳物

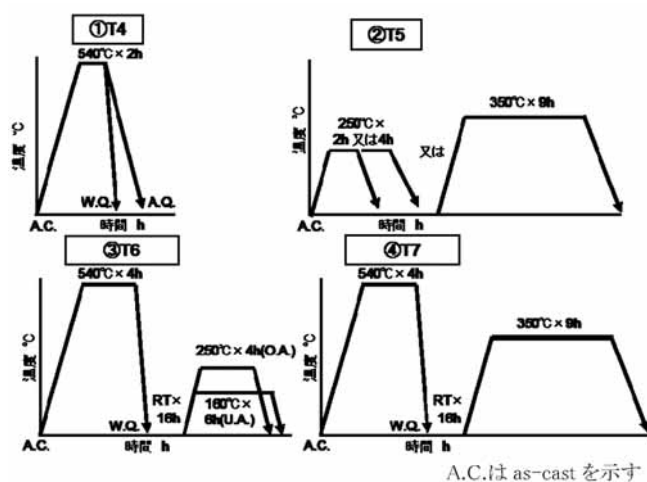


図2 熱処理工程

2.2 熱伝導率測定

熱伝導率測定試料は、肉厚15mm部分から直径10mmの丸棒を切出し、そこから直径約9mm、高さ約3mmの円柱状に機械加工した。試料の表面を#1000耐水ペーパーまで湿式研磨した後、エタノール液中で超音波洗浄を行った。各試料の直径及び厚さをノギスにて測定した後、電子天秤で重量を測定し、密度を求めた。熱伝導率は、図3に示すレーザーフラッシュTC7000 (株アルバック) を用いて熱拡散率及び比熱を測定して以下の式により算出した。

$$\lambda = C_p \times \alpha \times \rho$$

ここで、 λ : 熱伝導率 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

C_p : 比熱 ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

α : 熱拡散率 ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

ρ : 密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)



図3 レーザフラッシュ (TC-7000 (株アルバック))

3 結果および考察

合金の熱伝導率は、マトリックス中に固溶する溶質元素及びその量に大きく影響されると考えられる。そこ

【報告】

で熱伝導率に及ぼすMg量、Si量及び熱処理の影響についてそれぞれ調べた。

3.1 Mg量の影響

Mgは、熱処理により過飽和固溶体から析出するMg₂Si相の析出過程においてマトリックスを強化し、機械的性質を向上させる。しかしながら過剰添加は、じん性を低下させるため、通常、本研究で用いたAl-Si-Mg系合金では、JIS規格で0.25-0.45%程度の範囲となっている。過去の研究²⁾において、半溶融成形では、JIS規格以上にMgを過剰添加しても伸び、じん性を維持しつつ強度を大きく向上させることが示されている。ヒートシンクとしての利用を考慮した場合、ある程度の硬さや強度特性が必要となるため、強度と熱伝導率のバランスのとれたMg量を求める必要があると考えられる。図4にT6 (U.A.) 処理したAl-7%Si-0.25、0.35、0.45、0.55、0.65及び0.75%Mg合金の熱伝導率測定結果を示す。Mg量が0.35%以下の合金に比べて0.45%以上のMg量では、熱伝導率は若干低いものの、約155W・m⁻¹・K⁻¹を維持した。山本³⁾は、半溶融成形したAl-4%Si系合金において、Mg量を0%から0.80%に増加させたas-cast材の熱伝導率は、180 W・m⁻¹・K⁻¹から166 W・m⁻¹・K⁻¹に連続的に低下すること、T6材では、0.4%Mgを境にそれ以上のMg量で低下傾向にあることを報告しており、また、as-cast材とT6熱処理した合金は、熱伝導率に対するMg量の影響は鈍感であることが示されている。一般に熱伝導率は、溶質元素の固溶量の増加とともに低下することが示されている。as-cast材では、半溶融成形直後にマトリックスに過飽和固溶されたMgは、添加量とともに増大するものの、T6処理において析出硬化相の構成成分として時効析出するため、相対的に固溶Mg量が低下する。過飽和に固溶されたMgが析出することで、T6処理した各Mg添加合金

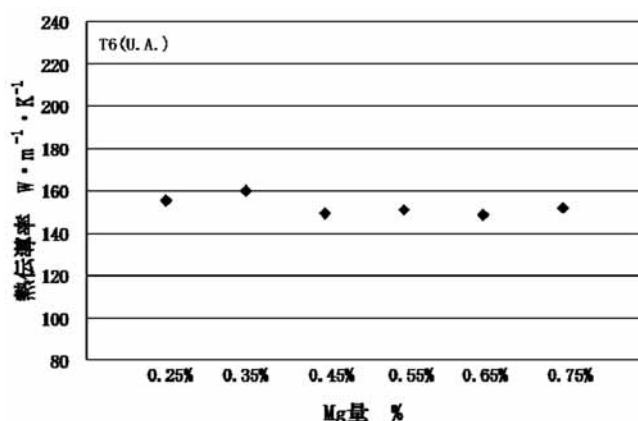


図4 熱伝導率測定結果 (Mg量の影響)

における固溶Mg量の差がas-cast材に比べて比較的小さくなったと思われる。このことが、T6材の熱伝導率に及ぼすMgの影響が比較的小さかった理由と推測される。

3.2 Si量の影響

Siは、湯流れ特性、引け特性など、铸造性に大きく影響する主要な元素であり、半溶融成形に最も多く使われるAC4CH合金では、7%程度含有している。しかしながらMgと同様にSiは、熱伝導率を低下させる。そのために铸造性と熱伝導率のバランスを考慮し、適切なSi量を検討する必要がある。図5には、Si量を変化させた合金のas-cast材の熱伝導率を示す。as-cast材では、2%Si合金の熱伝導率175W・m⁻¹・K⁻¹を最高値としてSi量の増加に伴いは低下し、6%Si以上で150 W・m⁻¹・K⁻¹となった。比較材として用いたADC12合金ダイカスト材と比較した場合、4%Si合金の熱伝導率は、38%高値であった。2%から7%Siを含むAl-Si-Mg系合金を用いて実製品形状鋳物を半溶融成形したところ、いずれも内部欠陥の無い健全な鋳物が得られた、また流動性試験では、4%以上のSiでは、ほぼ同等の流動長が得られたことを確認している⁴⁾。このことから熱伝導率と铸造性を考慮すると4%Siが妥当な添加量と判断した。

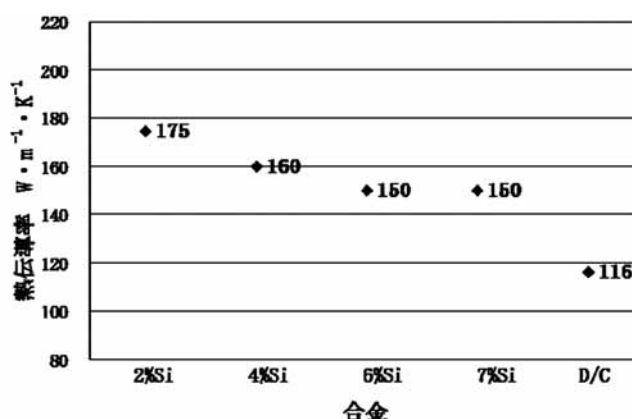


図5 熱伝導率測定結果 (as-cast材)

3.3 熱処理の影響

一般的に熱伝導率は、合金中に固溶する溶質量に大きく影響し、熱処理による固溶元素の析出等は、熱伝導率を向上させる。本研究においても種々の熱処理を行い、熱伝導率に及ぼす熱処理の影響を調べた。

Al-4及び7%Si-0.5%Mg合金を540℃で2h保持したあと水中に焼入れしたものと(W.Q.)、空气中に放冷した(A.Q.)T4材の熱伝導率測定結果を表に示す。水中焼入れしたT4材(W.Q.)は、as-cast材と

ほとんど同値であるが、空気放冷したT4材 (A.Q.) のそれは、as-cast材に比べて10%程度上回った。A.Q.材とW.Q.材の熱伝導率の違いは、溶体化処理温度540℃から室温まで冷却される冷却速度がW.Q.材の方が速いために過飽和に固溶される溶質元素量が多くなるためである。

表 熱伝導率測定結果 (T4材)

合金	鋳放しのまま (as-cast)	T4(W.Q.)	T4(A.Q.)
Al-4%Si-0.5%Mg	160	156	173
Al-7%Si-0.5%Mg	150	149	167

図6にT5処理した半溶融成形材の熱伝導率測定結果を示す。T5処理を施すことで、いずれの合金ともにas-cast材に比べて10%以上熱伝導率が向上した。T5処理することで半溶融成形時に過飽和に固溶された溶質元素が析出し、相対的に固溶度が減少したためと考えられる。4%Si合金においてT5処理時間を2から4hに延長しても熱伝導率は、ほとんど変わらなかった。

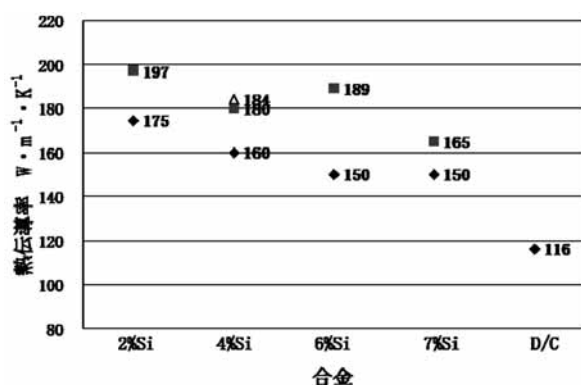


図6 熱伝導率測定結果 (as-cast材およびT5材)

◆as-cast、■T5 (250℃×2h)、△T5 (250℃×4h)。

図7には、T6材、T7材及び350℃×9hの長時間時効したT5材の熱伝導率測定結果を示す。T6処理することでas-cast材に比べて熱伝導率は向上し、とくに時効析出を促進させ、過時効軟化したO.A.材では、U.A.材に比べて高値を示した。350℃×9hと、さらに時効析出させたT5材及びT7材の熱伝導率は、約200W・m⁻¹・K⁻¹レベルに達した。この値は、ダイカストの1.7倍以上であり、また、Al-Si-Mg系の展伸合金に匹敵する。

以上のように合金成分及び熱処理を変化させることで、熱伝導率の高い半溶融成形鋳物が得られることがわかった。

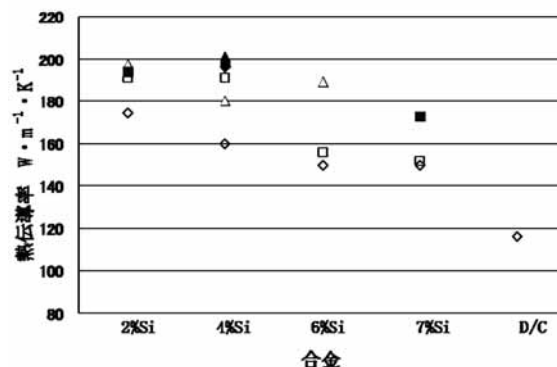


図7 熱伝導率測定結果 (T5, T6およびT7材)

◇as-cast、△T5 (250℃×2h)、□T6 (U.A.)、■T6 (O.A.)、▲T5 (350℃×9h)、◆T7 (350℃×9h)。

4 まとめ

高放熱性のヒートシンクを得ることを最終的な目的として、熱伝導率に及ぼす合金成分及び熱処理の影響について調べた。

- (1) Si及びMg量を調整することで、熱伝導率を高めることができた。強度、熱伝導率及び鋳造性のバランスがとれた半溶融成形材料としてAl-4%Si-0.5%Mg合金が有効であると考えられる。
- (2) 熱処理は、熱伝導率に大きな影響を及ぼすことがわかった。とくに過時効処理したT5及びT7材の熱伝導率は、約200W・m⁻¹・K⁻¹であり、ダイカスト材の1.7倍に達した。

本研究は、平成26年度静岡県地域活性化産学官連携研究開発助成事業の委託として(株)浅沼技研、東京工業大学、豊田工業大学との共同研究により行われた。

参考文献

- 1) 鎌土重晴：軽合金の半凝固・半溶融加工. 軽金属、50、pp.682-688 (2000)。
- 2) 岩澤秀 他：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. 第149回日本鋳造工学会全国講演大会概要集, p105, 広島 (2006)
- 3) 山本健介 他：溶融成形したAl-Si-Mg合金の熱伝導率に及ぼすMg量の影響. 第165回日本鋳造工学会全国講演大会概要集, 35, 北九州 (2014)
- 4) 岩澤秀 他：半溶融成形した鋳造用Al-Si-Mg系合金の機械的性質に及ぼすSi量の影響. 第152回日本鋳造工学会全国講演大会概要集, p70, 名古屋 (2008)