



凝固速度の異なるAl-Si-Cu-Mg合金の時効特性

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター 公開日: 2019-03-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 安藤, 哲也, 古川, 勇 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009773

凝固速度の異なる Al-Si-Cu-Mg 合金の時効特性

安藤哲也*1, 古川勇*2

1 緒言

Al-Si-Cu-Mg 合金は、機械的性質、被削性、铸造性にバランスのよい材料であり、アルミダイカスト用として自動車部品などに広く使用されている。アルミダイカストの場合、内部に空気などが入った場合、これが熱処理によって膨張して内部欠陥の原因となる可能性があるため、多くはダイカストのまま使用されている。しかしながら、高真空プロセス等のダイカスト技術の進化により、ダイカスト品にも熱処理が適用できるようになり、熱負荷の高い部分の要求特性に対応するため、熱処理を実施している。近年、環境問題の観点から社会的に CO₂ 削減が求められ、製造過程においても、部材としての性能を維持しつつ CO₂ を削減することが要求されている。

Al-Si-Cu-Mg 合金鋳物における組織形成に及ぼす冷却速度の影響については、Aguilera-Luna らの研究があるが、析出強化に影響を及ぼす Cu 等の形態や人工時効処理の影響についての言及はされていない。本研究では、異なる冷却速度により铸造した Al-Si-Cu-Mg 合金鋳物における、人工時効処理後の機械的性質調査ならびに組織観察をおこない、凝固速度と時効処理特性との関係について調査した。

2 実験方法

2.1 調査材

Al-11.0 mass%Si-1.9 mass%Cu-0.2 mass%Mg 合金を、

*1: もの創造系領域先進マテリアル工学ユニット

*2: トヨタ自動車株式会社

重力铸造法により直径 60 mm、高さ 150 mm の円柱状に铸造し、冷却条件を制御することにより二種類の異なる冷却速度の鋳塊を得た。注湯直前の溶湯温度は約 800 °C であり、実測した冷却曲線から算出される二種類の凝固速度はそれぞれ、16 K/s および 7.7 K/s であった。鋳型材質は、前者にはクロム銅を、後者には SKD61 を用い、ともに肉厚は 20 mm とした。

2.2 調査項目

冷却速度測定をおこなった近傍より試験片を採取し、マイクロ組織観察および時効処理後の機械的性質測定をおこなった。

マイクロ組織観察は、光学顕微鏡、電子プローブマイクロアナライザー (Electron Probe Micro Analyzer, EPMA) ならびに透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope, TEM) により実施した。EPMA 分析では、晶出物を同定することを目的とし、機器分析センターの日本電子 JEOL JXA-8900R を用い、面分析ならびに定量分析をおこなった。TEM の試料は、ツイングレット法により 30 % ナイタル液を用いて作製し、観察は機器分析センターの日本電子 JEOL JEM-2100F を用い、加速電圧 200 kV でおこなった。

鋳造材の機械的性質は、ビッカース硬さ測定ならびに引張試験によりおこなった。ビッカース硬さ測定は、Future-tech FV-300A 硬さ試験機を用い、荷重 4.9 kN としておこなった。引張試験は、島津製作所 AG-50kNE 引張試験機を用い、試験片の平行部寸法は、外径 6 mm、長さ 40 mm とした。

時効処理後の機械的性質は、150 °C に設定した電気炉内に 24 時間保持することにより人工時効処理をおこなった後に、ビッカース硬さ測定により実施した。溶体化処理をおこなう場合には、540 °C に設定した電気炉内へ 30 分保持後に水冷し、直ちに人工時効処理をおこなった。

3 実験結果および考察

3.1 光学顕微鏡組織および EPMA 分析

光学顕微鏡によるマイクロ組織観察を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示されたとおり、凝固速度が約 2 倍に増加することに伴い針状晶出物が減少し、粒状晶出物は微細化、減少した。その一方で、初晶 α 相比率が增大していることが確認された。

EPMA 分析の結果を Fig. 2 に示す。晶出物の多くには Si が検出された一方、Cu を主体とする晶出物の存在も確認され、凝固速度が 7.7 K/s の場合には、Cu と同一位置に Mg が検出された。Cu を含んだ粒状晶出物は、 Q - $Al_5Mg_8Si_6Cu_2$ 相あるいは θ - $CuAl_2$ 相であると報告されている²⁾が、Mg が存在していた位置には Si が検出されていないことから、 S - $CuMgAl_2$ 相の存在が示唆された。 S 相、 Q 相、 θ 相にはいずれも、固溶強化または時効処理後の析出強化に大きく寄与する Cu や Mg が含まれているため、凝固速度の増大に伴って粒状晶出物が減少したことにより、Cu や Mg が晶出することなく過飽和に固溶したことが期待される。

3.2 機械的性質

casting material's mechanical properties are shown in Table 2. Table 2 shows that the difference in Vickers hardness for the solidification rate difference (approximately 12% increase) compared to the difference in tensile strength is about 2 times and larger. Fig. 1 shows that the increase in solidification rate

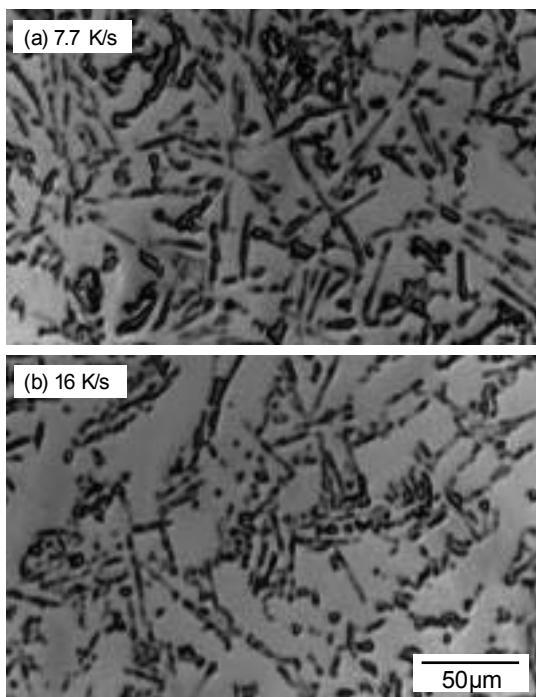


Fig. 1 調査材の光学顕微鏡組織写真.

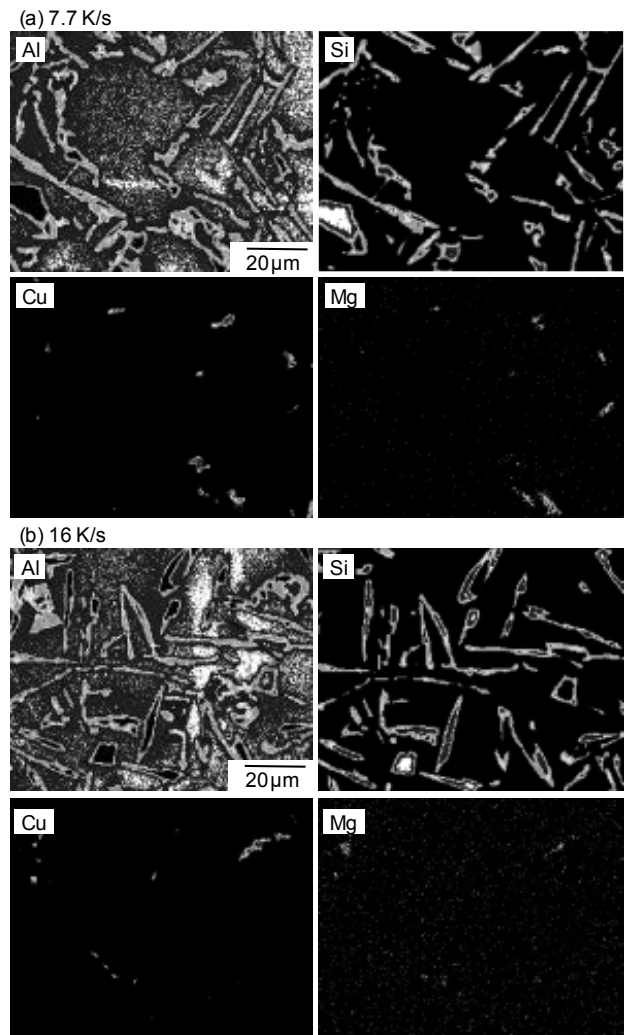


Fig. 2 調査材の EPMA 分析結果.

Table 2 鋳造材の機械的性質.

Solidification rate / K/s	Vickers hardness	Tensile strength / MPa
7.7	92.8	129
16	104	248

とともに針状晶出物が減少していたが、一般に針状 Si 相は延性の低下を招くことが知られており、延性の増大に伴う加工硬化量の増大が引張強さの増大につながったものと考えられた。

溶体化処理をおこなった後に人工時効処理した材料 (T6 処理材) ならびに鋳造のまま人工時効処理をおこなった材料 (T5 処理材) の、時効処理後の硬さ測定結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 に示されたように、凝固速度が 7.7 K/s、16 k/s のいずれの材料においても、溶体化処理後に人工時効処理をおこなった T6 処理材の場合には、ほぼ同等の硬さの上昇が認められた。一方、T5

処理材の場合には、凝固速度が 7.7 K/s の材料の硬さ上昇は約 15 %であったが、16 K/s の材料では約 30 %の硬さ増大が生じ、T6 処理の場合とほぼ同じ硬さが得られた。

光学顕微鏡組織観察において、16 K/s 材は 7.7 K/s 材に比較し、晶出物量が減少し、初晶 α 相比率が増大していたことから、凝固速度の増大に伴い、合金元素の晶出が抑制されたことで過飽和に固溶し、その後の人工時効処理により析出が生じたことで硬さ上昇に寄与したものと推測された。

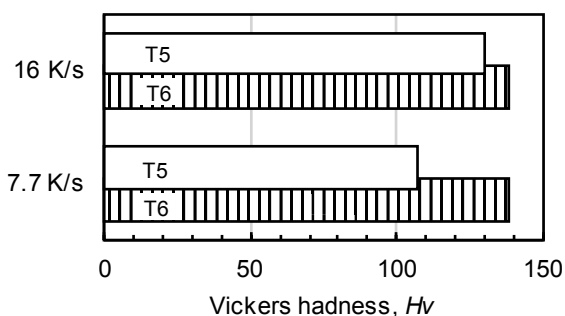


Fig. 3 人工時効処理後のビッカース硬さ測定結果.

3.3 透過電子顕微鏡組織

上記推定メカニズムを検証するため、硬さ上昇の生じた凝固速度 16 K/s 材の T5 処理材に関し、TEM を用いた STEM-EDX マッピング像を Fig. 4 に示す。Fig. 4 に示されたとおり、Si や Mg は均一に分散しているのに対し、Cu は濃縮が生じていることが確認された。

この濃縮が確認された領域において、入射電子線方向を[001]方向とした場合の制限視野回折 (SAD) 像ならびに回折スポットの解析結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 に示されたとおり、アルミニウム母相の回折スポットとは別に、母相と特定の方位関係をもつ析出物の回折スポットが確認された。Fig. 4 の結果を考慮すると、人工時効処理をおこなうことにより、Cu 系の化合物が析出したものと考えられた。しかしながら、析出物の同定には至っていない。

4 結言

凝固速度の異なるにより Al-Si-Cu-Mg 合金鋳物における、人工時効処理後の機械的性質調査ならびに組織観察をおこない、凝固速度と時効処理特性との関係について調査し、以下の結果を得た。

(1) 凝固速度の増大に伴い、晶出物の生成量が減少した。

前記は、合金元素が過飽和に固溶していることを示唆するものである。

(2) 人工時効処理後の機械的性質調査の結果、凝固速度が 16 K/s の場合には、溶体化処理を省略した T5 材の場合においても、T6 材と同等の硬さが得られた。

(3) 硬さの増大がみられた T5 材の TEM 観察の結果、Cu 系化合物と推測される析出物の存在が確認された。すなわち、硬さ上昇の原因は、その析出強化によるものと考えられた。

文献

(1) Aguilera-Luna, I., Castro-Román, M. J., Escobedo-Bocardo, J. C., García-Pastor, F. A. and Herrera-Trejo, M., *Materials Characterization*, 95 (2014), p211-218.

(2) Zheng, Y., Xiao, W., Ge, S., Zhao, W., Hanada, S. and Chaoli, M., *Journal of Alloys and Compounds*, 649 (2015), p291-295.

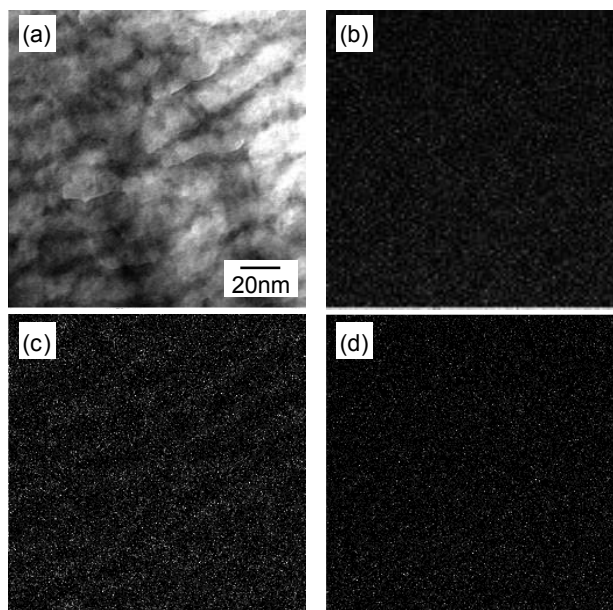


Fig. 4 透過電子顕微鏡 STEM-EDX マッピング (a)BF 像, (b)Si, (c)Cu, (d)Mg).

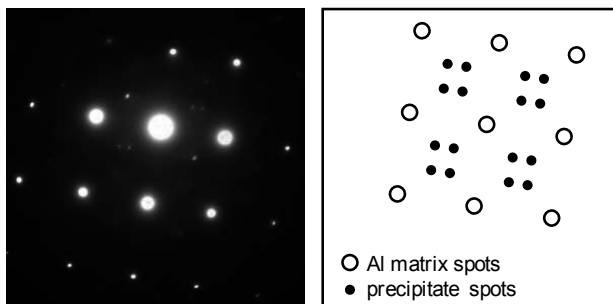


Fig. 5 透過電子顕微鏡制限視野回折像 (入射電子線方向 // [001]).