

# ADC12 壓鑄件之 T6 熱處理

## T6 Heat Treatments for Die Casting ADC12 Alloy

吳柏辰<sup>1\*</sup>、彭駿傑<sup>1</sup>、楊智富<sup>1</sup>

B. C. Wu<sup>1\*</sup>, J. J. Peng<sup>1</sup>, C. F. Yang<sup>1</sup>

大同大學材料工程學系

### 摘要

本研究之目的，乃在探討與嘗試解決鋁合金壓鑄件於 T6 處理時會產生起泡現象(Blistering)之問題。本研究主要以 ADC12 (Al-10.2 Si-1.6 Cu-0.9 Fe-0.3 Mg) 壓鑄鋁合金材料及其壓鑄件作為研究對象，分析鋁合金壓鑄件材料內析出物之固溶與析出行為，探討適當之不起泡固溶溫度及時間條件，並利用調整熱處理條件之方式，使鋁合金壓鑄件可藉由適當之 T6 處理(包括不起泡固溶處理、淬水及人工時效)達到析出強化效果。

實驗結果顯示，ADC12 合金之不起泡固溶處理之溫度與時間上限為 480°C/0.25 h，此時合金之高溫強度為 1.14 kgf/mm<sup>2</sup>(或 11.2 MPa)。由 ADC12 合金之高溫強度數據與壓鑄件發生起泡現象之溫度與時間條件作比對，得知只要固溶處理之溫度與時間不要過高或過久，使合金之高溫強度維持在不低於 1.14 kgf/mm<sup>2</sup>(或 11.2 MPa)之情況下，即可避免表面起泡問題之發生。

ADC12 合金(含 1.6% Cu)在 460°C、480°C、490°C 及 520°C 進行 1 小時之固溶處理，其後續所能達到之「T6 處理硬化效果」分別為 83%、91%、99% 及 100%；顯示縱使將固溶處理溫度由 520°C 下降至 460°C，此合金也能獲致 83% 之時效硬化能力。本研究亦發現，ADC12 合金在 460°C~490°C 溫度區間內進行固溶處理時，固溶時間為 0.25 小時與 1 小時兩者所獲致之後續時效硬化效果十分接近，因此將固溶時間由 1 小時縮短至 0.25 小時，仍可達到相同之時效硬化效果。

**關鍵字：**鋁合金壓鑄件、T6 熱處理、表面起泡現象、不起泡固溶處理

### Abstract

This study deals with the blistering problem in die casting Al alloys when they are subjected to a T6 heat treatment. In order to realize the onset temperature and time conditions for the blistering problem to occur, a common die casting alloy, namely ADC12 (Al-10.2 Si-1.6 Cu-0.9 Fe-0.3 Mg), were used and subjected to a series of solid solutioning tests. Once the blistering onset conditions were identified, proper T6 heat treatment can be applied to the alloys without the occurrence of blistering. Through a careful selection of heat treatment conditions (not to exceed the blistering onset conditions) and proper adjustments of alloy compositions (to lower the required solid solution temperature) die casting alloys can be strengthened by the blistering-free T6 heat treatment.

The results show that the upper limits of temperature and time for the blistering-free solid solution treatment in ADC12 alloy are 480 °C /0.25 h. By correlating the high temperature strength data of ADC12 alloys to the onset temperature for blistering, it was found that the blistering occur when the high temperature strengths of the ADC12 alloys are equal to or less than 1.14 kgf/mm<sup>2</sup> (or 11.2 MPa). As such, blistering problems can be avoided by solid solutioning at a temperature below the onset temperature blistering, while the high temperature strengths of the alloys are strong enough to suppress the blistering from happening.

In the case of ADC12 alloy (containing 1.6% Cu) it was shown that, when subjected to solid solutioning one hour at 460, 480, 490 and 520 °C, the subsequent age hardening effect in the alloy are respectively 83%, 91%, 99% and 100%. This means that in the ADC12 alloy a

great amount of solid solutioning effect can be achieved even heat treated at a low temperature of 460°C (a temperature without blistering). It was also found in this study that the duration of solid solution treatment can be shortened from one hour to 0.25 hour without scarifying the subsequent age hardening effect.

**Keywords :** Die Casting Al Alloys, T6 heat treatment, Blistering, Blistering-free solid solution treatment

## 1. 前言

高壓鑄造(簡稱壓鑄)乃是利用擠桿將料筒內金屬熔湯以高速強制壓入形狀複雜的金屬模具內的一種鑄造法,其鑄件因為在急冷高壓下凝固,結晶粒度較重力鑄造件小,所以強度比未經 T6 熱處理之重力鑄造件還強。壓鑄製程雖然設備及模具費用較高,但因冷卻速度快,節省了每一鑄造週期所需之時間,且壓鑄件的加工裕度較小,節省了材料及加工成本;另一方面,高壓鑄造製程之自動化程度最佳,且模具壽命長,故當鑄件量大時乃是最符合經濟的生產方法。

一般而言,鋁合金壓鑄件並不適合作熱處理,此乃因其製程係利用擠桿將鋁湯以高壓快速擠入模穴中,而模穴內來不及跑出的空氣被捲入鋁湯內,致使鑄件生成微小的壓縮氣孔;若將壓鑄件進行高溫固溶處理(通常高於 500°C),鑄件表面會發生起泡現象(Blistering),形成缺陷,成為瑕疵品。且鑄件內部之孔隙也會因高溫而造成整體的尺寸不穩定及機械性質變差,使得需承載荷重之鋁合金零組件需加大尺寸,或改採可熱處理提升強度之「重力鑄造」製程(但其製程周期慢、成本高、且無法高度自動化生產)<sup>[1-3]</sup>。

本研究之目的,乃在克服一般鋁合金壓鑄件於 T6 處理時會產生鑄件表面起泡現象之問題,利用調整熱處理條件之方式,探討不同「鋁合金壓鑄件之熱處理條件」期能使一般壓鑄方式所得之鋁合金鑄件可藉由適當之 T6 處理(包括不起泡固溶處理、淬水及人工時效)達到析出強化效果。

## 2. 實驗方法

本實驗主要以 ADC12 (Al-10.2Si-1.6Cu-0.3Mg)壓鑄鋁合金材料及其壓鑄件作為研究對象,分析壓鑄鋁合金材料內析出物之固溶與析出行為,探討適當之不起泡固溶溫度及時間條件,並分析此不起泡 T6 處理對鋁合金壓鑄件之析出強化效果。為分析壓鑄鋁合金內 Al<sub>2</sub>CuMg 和 Mg<sub>2</sub>Si 等析出相之固溶特性與析出行為,本研究另選用直接急冷鑄造(DC Casting)之 2024(析出相為 Al<sub>2</sub>CuMg)與 6061(析出相為 Mg<sub>2</sub>Si)鋁合金擠錠,分別探討其析出相之固溶與析出行為。

金相用試片均以碳化矽水砂紙依序逐步研磨至 1500 號之後以 1 μm 氧化鋁粉進行第一次拋光,至接近鏡面後,再以 0.05 μm 氧化鋁粉進行第二次拋光。拋光後以 Keller's Regent (20 ml HF + 30 ml HCl + 50 ml HNO<sub>3</sub> + 1900 ml water)進行化學腐蝕,腐蝕時間約為十幾秒,視腐蝕狀況可調整腐蝕時間。金相分析乃利用 Nikon-Optiphot 光學顯微鏡。

為了解鋁合金中 Al<sub>2</sub>CuMg 與 Mg<sub>2</sub>Si 兩種析出相的析出與回溶相變化之特性,使用熱示差掃描熱量分析儀(DSC)來量測直接急冷鑄造之 2024(析出相為 Al<sub>2</sub>CuMg)與 6061(析出相為 Mg<sub>2</sub>Si)鋁合金擠錠,藉此得知鋁合金中 Al<sub>2</sub>CuMg 與 Mg<sub>2</sub>Si 兩種析出相的析出與回溶溫度。

將 ADC12 鋁合金壓鑄件內形狀特徵相同之部位裁切成固定之尺寸,再進行高溫起泡實驗觀察。試片於 460~560°C 鹽浴爐持溫 0.25~8 小時取出,分析壓鑄件在不同固溶處理條件下之起泡程度。鑄件經固溶處理後,先以肉眼觀察表面是否有起泡現象,接著以光學顯微鏡觀察鑄件剖面近表層處是否有因固溶處理溫度過高所導致之氣孔膨脹現象;藉此分析壓鑄件發生表面起泡之溫度與時間條件,並整理歸納出可避免表面起泡之固溶溫度與時間之上限。由於本實驗所使用 ADC12 壓鑄件為機車傳動蓋組件,該製品對氣密性要求高,因此鑄件乃是以較慢速之擠型所製備,以減少捲氣所產生之氣孔缺陷,所以此鑄件氣孔較一般高速擠型之壓鑄件少,為能順利對表面起泡現象作定量分析,將壓鑄件裁切成固定之大小再進行高溫起泡熱處

理，以方便計算每單位面積所發生之氣泡數量。

為探討鋁合金經過不同固溶處理後之时效特性，將重力鑄造淬水急冷之 ADC12 合金經不同之固溶溫度(460~520°C)下進行 0.25~1 小時之固溶處理並淬水後，於油浴槽中進行恆溫时效，由时效硬化數據之高低來比較不同固溶處理條件所獲致之析出強化效果；換言之，也就是比較不同固溶處理條件看能否達到充分的固溶效果，已產生充分的析出硬化效應。

鋁合金壓鑄件在固溶處理時會因材質軟化而使內含之壓縮氣孔膨脹冒泡，為分析材料在固溶處理時之高溫強度與發生表面起泡現象之關聯，因此量測不同鋁合金之高溫強度。將重力鑄造之 ADC12 合金鑄材，切割成 2 mm 厚之片材，再以飛輪式高速沖壓機沖剪成如所示之拉伸試片，進行室溫與高溫拉伸測試，應變速率設定為  $1 \times 10^{-3} \text{ S}^{-1}$ 。

### 3. 結果與討論

#### 3.1 ADC12 鋁合金之顯微組織

本研究所使用之 ADC12(Al-10.2 Si-1.6 Cu-0.9 Fe-0.3 Mg)為亞共晶鋁矽合金。圖 1(a)為 ADC12 鋁合金經急冷重力鑄造所得板材之光學顯微組織圖。由微觀結構可看出鋁合金之鑄造結構主要皆由初晶樹枝狀  $\alpha$  相結晶及共晶  $\alpha + \beta$  層狀結構所組成，其中 ADC12 之初晶  $\alpha$  約僅占二成。圖 1 (b)為 ADC12 鋁合金壓鑄件之光學顯微組織圖。由於高壓鑄造乃是利用擠桿將料筒內金屬熔湯以高速強制壓入水冷的金屬模具內的一種鑄造法，其鑄件在高壓急冷下凝固，所以結晶粒度較重力鑄造者小。由圖 1(a)與(b)之比較可知，由高壓鑄造之 ADC12 鋁合金由於冷卻速度極快，故其初晶  $\alpha$  粒度比急冷重力鑄造者更為細小，且高壓鑄造所得之共晶矽也遠比重力鑄造者來的細密。

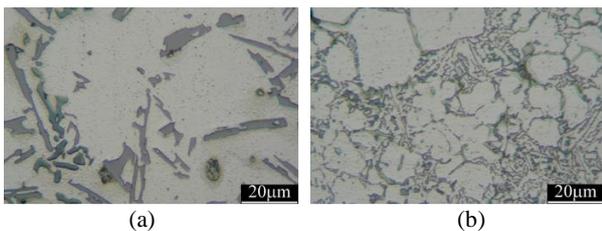


圖 1 ADC12 合金之光學顯微組織圖(a)重力鑄造、(b)

高壓鑄造。

#### 3.2 鋁合金壓鑄件之表面起泡現象分析

鋁合金壓鑄件發生表面起泡現象之條件乃是當壓鑄件升至高溫(約 500°C 以上)時，材料強度大幅下降，鑄件內近表面層之壓縮氣孔得以自由膨脹，形成表面起泡現象。以下分析 ADC12 壓鑄鋁合金表面起泡之溫度與時間條件。圖 2 為 ADC12 鋁合金壓鑄件於 460°C ~560°C 範圍內進行高溫處理後之表面巨觀形貌照片，紅色圓圈標記壓鑄件發生表面起泡現象之位置。由圖可知，壓鑄件經 460°C/1 小時熱處理後並無表面起泡現象，而 490°C 以上溫度熱處理 1 小時則觀察到有表面起泡現象。若將熱處理溫度下降至 480°C 進行 0.25~1 小時熱處理，則試片熱處理後之表面形貌如圖 3 所示，則可發現在 480°C 熱處理 0.25 小時不會發生表面起現象，但延長至 0.5 小時以上，則會發生表面起泡現象。若固定熱處理時間為 0.25 小時來比較 480°C 與 490°C 熱處理溫度之表面型態，其結果如圖 4，可發現 ADC12 鋁合金壓鑄件在 490°C/0.25 小時熱處理條件下會發生表面起泡現象，而 480°C/0.25 小時者不會。圖 5 為 ADC12 鋁合金壓鑄件於 460°C ~560°C 範圍內進行不同熱處理後之近表面層位置之金相圖，與圖 2 之表面型態照片互相比對，可知在 490°C 以上之溫度熱處理 1 小時皆可觀察到壓鑄件表面有起泡現象，而鑄件內亦出現膨脹之氣孔。當熱處理溫度愈高時，其表面起泡現象愈明顯，膨脹之孔洞愈大，如圖 5(b)~(g)。當熱處理條件為 460°C/1 小時，則試片表面不會起泡，內部也不會出現膨脹之孔洞組織，如圖 5(h)所示。



圖 2 ADC12 鋁合金壓鑄件經 460°C ~560°C 熱處理後之

表面起泡現象比較圖，試片由左至右分別為未經固溶處理者、560°C/8h、560°C/1h、540°C/1h、520°C/1h、490°C/1h、460°C/1h 熱處理者。

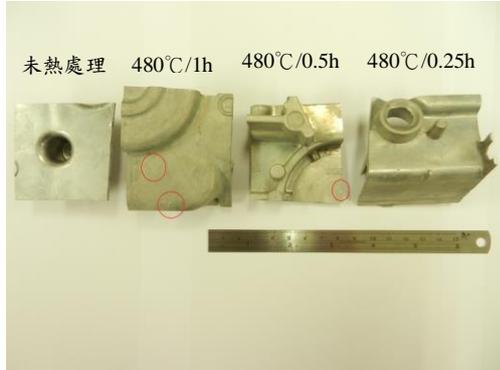


圖 3 ADC12 鋁合金壓鑄件經 480°C 熱處理 0、0.25 h、0.5 h 及 1 h 後之表面起泡現象比較圖。

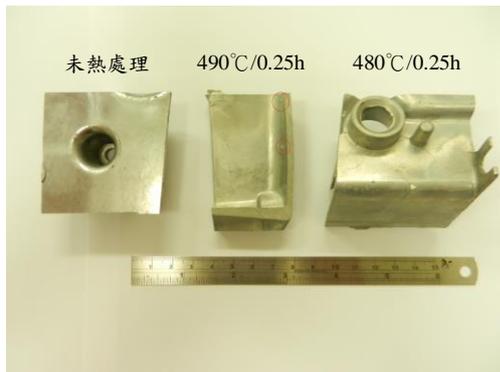


圖 4 ADC12 鋁合金壓鑄件經 490°C 及 480°C 熱處理 0.25 h 後之表面起泡現象比較圖。

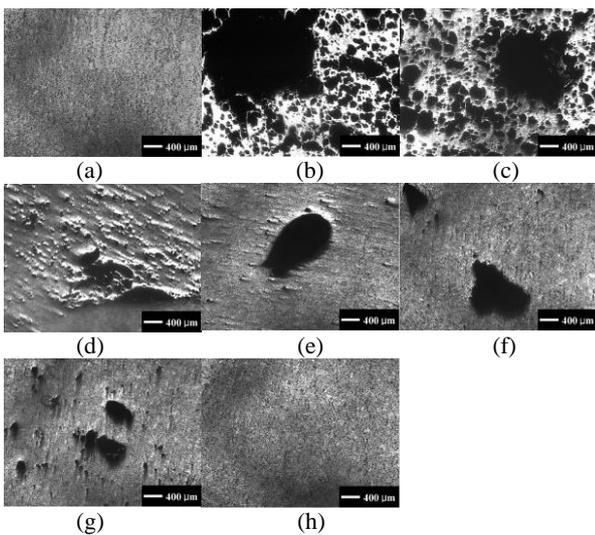


圖 5 ADC12 鋁合金壓鑄件經高溫熱處理前後之光學顯微組織，(a) 未經熱處理者，以及經 (b) 560°C

/8h, (c) 560°C/1h, (d) 540°C/1h, (e) 520°C/1h, (f) 490°C/1h, (g) 480°C/1h, (h) 460°C/1h 熱處理者。

### 3.3 鋁合金之熱分析

由於鋁合金壓鑄件在熱處理時會有  $\text{Al}_2\text{Cu}(\text{Mg})$  及  $\text{Mg}_2\text{Si}$  之析出與回溶反應，故為了解  $\text{Al}_2\text{Cu}(\text{Mg})$  和  $\text{Mg}_2\text{Si}$  析出相之固溶特性與析出行為，特別選用直接急冷鑄造之 2024 (析出相為  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ) 與 6061 (析出相為  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ) 鋁合金擠錠進行先導性分析，使用熱示差掃描熱量分析儀 (DSC) 來分析  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  和  $\text{Mg}_2\text{Si}$  析出相之析出溫度和溶解溫度。

實驗結果顯示，2024 與 6061 鋁合金之 DSC 升溫熱分析如圖 6 與 7 所示。由圖可知，2024 鋁合金在約 290°C 有明顯之放熱峰，此為 S 相 ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ) 析出峰，而在約 466°C 時有吸熱峰，此為 S 析出相回溶至鋁基地之特徵峰，此與 Shin 等人<sup>[4]</sup> 對 2024 鋁合金之 DSC 熱分析結果相似。由圖 7 可知，6061 鋁合金在約 291°C 有明顯之放熱峰，此為  $\beta$  相 ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ ) 之析出峰，而在約 509°C 時有吸熱峰，為  $\beta$  析出相回溶至鋁基地之特徵峰。由以上熱分析結果得知，2024 與 6061 鋁合金之有效固溶溫度應分別高於 466°C 及 509°C，而 2024 與 6061 鋁合金之固溶處理規範分別為 495°C 及 530°C。

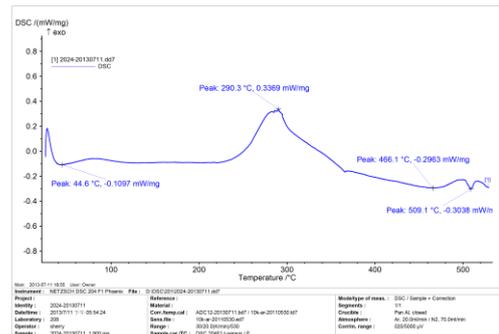


圖 6 2024 鋁合金擠錠之 DSC 分析。

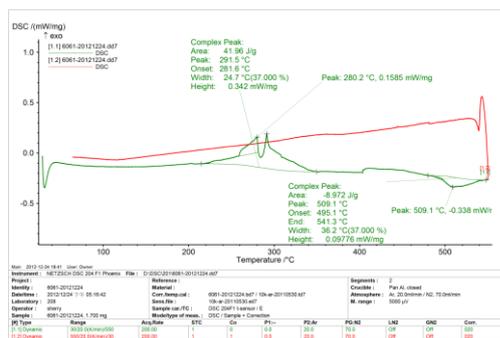


圖 7 6061 鋁合金擠錠之 DSC 分析。

### 3.4 不同固溶處理條件對後續時效硬化特性之影響

#### 3.4.1 2024 與 6061 鋁合金

為分析 ADC12 壓鑄鋁合金內之  $Al_2Cu(Mg)$  和  $Mg_2Si$  等析出相之固溶特性與析出行為，本實驗先行對直接急冷鑄造之 2024 與 6061 鋁合金擠錠進行測試，探討分別具備  $Al_2Cu(Mg)$  及  $Mg_2Si$  析出相之兩種鋁合金在不同固溶處理溫度條件下之「時效析出特性」。

圖 8 顯示 2024 鋁合金經  $460^\circ C/1$  小時、 $490^\circ C/1$  小時及  $520^\circ C/1$  小時等三種不同固溶處理後之  $190^\circ C$  恆溫時效曲線圖；審視此圖可知，三種固溶條件之時效曲線皆約在 12 小時達到頂時效，若以  $520^\circ C/1$  小時之固溶條件能造成 100 % 後續「T6 處理硬化效果」(試片在 T6 頂時效之 HRB 硬度 - 熱處理前之 HRB 硬度 =  $83.5 - 42.2 = 41.3$  HRB) 作為參考值，則  $490^\circ C/1$  小時及  $460^\circ C/1$  小時之固溶條件能造成後續「T6 處理硬化效果」分別為 36.8 及 28.8 HRB，比起  $520^\circ C/1$  小時時之固溶條件之「T6 處理硬化效果」則分別可達到 89 % 及 70 % 之有效析出硬化效果，因此可知固溶處理溫度之高低會顯著的影響析出硬化成效，縱使固溶溫度由  $520^\circ C$  降至  $460^\circ C$ ，對含有  $Al_2CuMg$  析出相之 2024 鋁合金而言，仍具有 70% 之析出硬化能力。

圖 9 則為 6061 鋁合金經  $460^\circ C/1$  小時、 $490^\circ C/1$  小時及  $520^\circ C/1$  小時等三種不同固溶處理後之  $175^\circ C$  恆溫時效曲線圖；由圖可知，經  $530^\circ C/1$  小時固溶處理後之 6061 鋁合金於  $175^\circ C$  時效時，約在 8 小時可達

到頂時效，若以  $530^\circ C/1$  小時之固溶條件能造成 100 % 之後續「T6 處理硬化效果」(試片在 T6 頂時效之 HRB 硬度 - 熱處理前之 HRB 硬度) 作為參考值，則  $490^\circ C/1$  小時及  $460^\circ C/1$  小時之固溶條件能造成之「T6 處理硬化效果」可別達到 85 % 及 47 % 之有效析出硬化效果，此顯示含  $Mg_2Si$  之 6061 鋁合金，於  $490^\circ C$  施行 1 小時之固溶處理尚能達到一定程度之固溶效果。並於後續之人工時效達到 85 % 之析出硬化效果；但若於  $460^\circ C$  施行 1 小時之固溶處理，則其固溶效果非常有限，比起充分固溶之試片，其後續之人工時效僅能達到 47 % 之析出硬化效果。當固溶溫度由  $530^\circ C$  降至  $460^\circ C$  時，其固溶效果明顯不足，所造成之析出硬化效果僅剩 47 %。

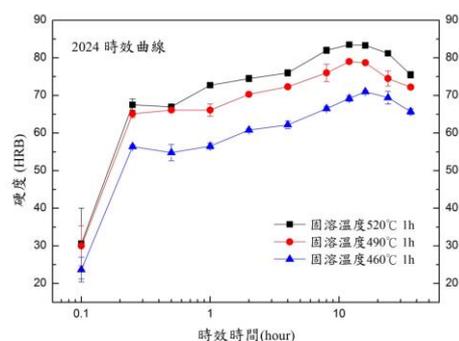


圖 8 2024 鋁合金擠錠經  $460^\circ C \sim 520^\circ C$  不同固溶處理條件與淬水後之  $190^\circ C$  恆溫時效曲線。

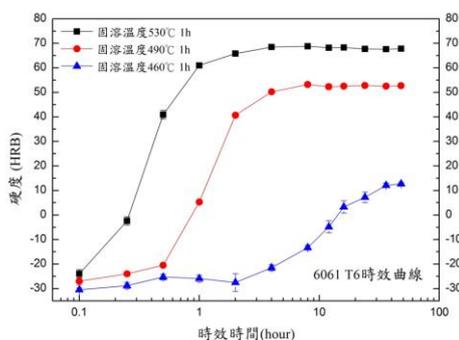


圖 9 6061 鋁合金擠錠經  $460^\circ C \sim 530^\circ C$  不同固溶處理條件與淬水後之  $175^\circ C$  恆溫時效曲線。

#### 3.4.2 ADC12 合金

圖 10 為含 1.6% Cu 之 ADC12 鋁合金經不同固溶條件(460°C/1 小時、480°C/1 小時、490°C/1 小時及 520°C/1 小時)處理後之 175°C 恆溫時效曲線圖；由圖可知 ADC12 鋁合金約在 12 小時達到頂時效，若以 520°C/1 小時之固溶條件可造成 100% 之後續「T6 處理硬化效果」為比較基準，則 490°C/1 小時、480°C/1 小時及 460°C/1 小時之固溶條件所造成「T6 處理硬化效果」分別為 99%、91% 及 83%，由此可知對 ADC12 鋁合金而言，縱使固溶溫度下降至 460°C，也能獲致 80% 之時效硬化能力。圖 11 則再進一步比較 460°C~490°C 溫度區間內施予長短不同時間之固溶條件(460°C/0.25 小時、460°C/1 小時、480°C/0.25 小時、480°C/1 小時、490°C/0.25 小時及 490°C/1 小時)處理後之 175°C 恆溫油浴爐之時效曲線；其結果亦顯示在相同之固溶溫度條件下，固溶時間短(0.25 小時)與長(1 小時)所獲致之時效曲線圖十分接近；此表示在 460~490°C 溫度區間內進行固溶處理時，僅需進行 0.25 小時即可，所達到之固溶效果與後續時效硬化效果與進行 1 小時固溶處理者十分接近。

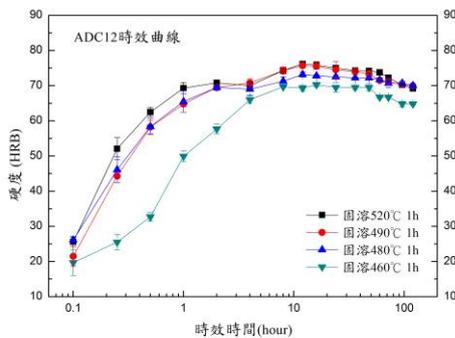


圖 10 重力鑄造淬水急冷 ADC12 鋁合金經 460°C~520°C 不同固溶處理條件與淬水後之 175°C 恆溫時效曲線。

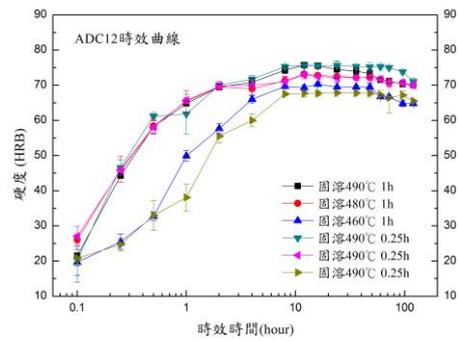


圖 11 重力鑄造淬水急冷 ADC12 鋁合金於 460°C~490°C 分別進行 0.25 h 及 1 h 固溶處理條件與淬水後之 175°C 恆溫時效曲線。

### 3.5 高溫拉伸測試

壓鑄件在高溫處理時所發生的表面起泡現象與壓鑄件當下的材料強度有密切的關係，為了解壓鑄鋁合金材料在起泡當下之高溫強度，特別針對 ADC12 合金進行 480°C/0.25 小時、480°C/1 小時、490°C/0.25 小時及 490°C/1 小時固溶處理，之後隨即在該溫度下進行高溫拉伸測試，已獲得固溶處理時材料之高溫強度數據，其結果如表 1 所示。此表顯示 ADC12 合金強度隨著固溶溫度與時間之增加而呈現下降趨勢。參考此表，將 ADC12 合金之高溫強度與壓鑄件起泡現象進行比對可發現，當 ADC12 合金之高溫強度大於或等於 1.14 kgf/mm<sup>2</sup>(或 11.2 MPa)時，不會發生表面起泡問題，但當高溫強度低於或等於 0.97 kgf/mm<sup>2</sup>(或 9.5 MPa)時，材料發生表面起泡現象。由此可歸納出，只要固溶處理時材料之高溫強度不低於 1.14 kgf/mm<sup>2</sup>，就可避免表面起泡現象問題之發生。

表 1 ADC12 合金在不同固溶處理條件時之高溫強度與起泡現象對照表。

合金材料	固溶溫度 (°C)	試片高溫爐內持溫時間(min)	強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	起泡現象(Y/N)
ADC12	490	15	0.94	Y
		60	0.90	Y
	480	15	1.14	N
		60	0.97	Y

#### 4. 結論

1. 避免 ADC12 鋁合金壓鑄件在高溫熱處理時發生表面起泡現象(Blistering)之溫度與時間上限為 480°C /0.25 小時，過高或過長之熱處理將導致鑄件產生表面起泡現象。
2. 直接急冷鑄造之 2024 與 6061 鋁合金擠錠之 DSC 分析顯示，2024 鋁合金之 S 相 (Al<sub>2</sub>CuMg) 在約 290°C 時析出，S 析出相在約 466°C 時回溶至鋁基體；6061 鋁合金 β 相 (Mg<sub>2</sub>Si) 在約 291°C 時析出，β 析出相在約 509°C 時回溶至鋁基體。由以上熱分析結果得知，Al<sub>2</sub>CuMg 與 Mg<sub>2</sub>Si 析出相之有效回溶溫度(固溶處理溫度)應分別高於 466°C 及 509°C。
3. 對含有 Al<sub>2</sub>CuMg 析出相之 2024 鋁合金而言，若以 520°C/1 小時之固溶條件所造成後續「T6 處理硬化效果」作為基準(100%)，則 490°C/1 小時及 460°C/1 小時之固溶處理條件所造成之「T6 處理硬化效果」分別為 89% 及 70%，因此可知固溶溫度由 520°C 降至 460°C，對含有 Al<sub>2</sub>CuMg 析出相之 2024 鋁合金而言，仍具有 70% 之析出硬化能力。對析出相為 Mg<sub>2</sub>Si 之 6061 鋁合金而言，若以 530°C/1 小時之固溶條件能造成 100% 後續「T6 處理硬化效果」來作為比較之基準，則 490°C/1 小時及 460°C/1 小時之固溶處理條件所造成之「T6 處理硬化效果」分別為 85% 及 47%，因此可知當固溶溫度由 530°C 降至 460°C 時，其固溶效果明顯不足，所造成之析出硬化效果僅剩 47%。
4. 對 ADC12 合金而言，若以 520°C/1 小時之固溶條

件可造成 100% 之後續「T6 處理硬化效果」為比較基準，則 490°C/1 小時、480°C/1 小時及 460°C/1 小時之固溶條件所造成「T6 處理硬化效果」分別為 99%、91% 及 83%，由此可知對 ADC12 合金而言，縱使固溶溫度下降至 460°C，也能獲致 83% 之時效硬化能力。

5. ADC12 合金在 460°C~490°C 溫度區間內進行固溶處理時，固溶時間為 0.25 小時與 1 小時兩者所獲致之後續時效硬化效果十分接近，因此將固溶時間由 1 小時縮短至 0.25 小時，仍可達到相同之時效硬化效果。
6. 由 ADC12 鋁合金之高溫強度數據與壓鑄件發生起泡現象之溫度與時間條件作比對，得知只要固溶處理之溫度與時間不要過高或過久，使合金之高溫強度維持在不低於 1.14 kgf/mm<sup>2</sup>(或 11.2 MPa)之情況下，即可避免表面起泡問題之發生。

#### 誌謝

本研究獲得大同大學基礎案 B101-T09-013 之經費補助，特此感謝。特此致上感謝之意。

#### 參考文獻

- [1] Roger Neil. Lumley, Robert Geoffrey O' Donnell, Dayalan Romesh Gunasegaram, Michael Givord, "Heat Treatment of Aluminium Alloy High Pressure Die Castings", Patent Application Publication Lumley et al.2009.
- [2] 林煜昆，壓鑄技術實務，徐氏基金會出版，民國 72 年，p.75~79。
- [3] 賴耿陽，金屬壓鑄技術，再版，復漢出版社，民國 85 年 2 月，p.153~156。
- [4] N. Gao, L. Davin, S. Wang, A. Cerezo and M.J. Starink, "Precipitation in stretched Al-Cu-Mg alloys with reduced alloying content studied by DSC, TEM and atom probe", Published in Materials Science Forum, 2002, vol.396~402, p.923~928.