高韌性壓鑄鋁合金發展動向（一）

金屬中心 ITIS 計畫 劉文海
出版日期：2011.09.06

一. 前言

汽車改善油耗以削減其對地球暖化氣體 CO_2 的排放量，依然是個待解的課題，此其中的一項手段就是使用鋁材料取代鋼材以使車體輕量化。因而在相關的壓鑄領域中，透過對高品質壓鑄技術的開發，鋁合金壓鑄件在要求高韌性的汽車車體和懸吊部品上的應用已經成爲可能，也開拓了鋁合金壓鑄件的新用途。

近年來，爲了因應汽車業界對於車體或懸吊部品等改用高品質鋁合金壓鑄件的需求，於是從高真空壓鑄法的建立、壓射室的保溫化、解析技術的提升等各方面來讓壓鑄技術更爲進步，現在沒有氣孔缺陷和破裂激冷層的高品質鋁合金壓鑄件的製造技術已經實用化。

而在壓鑄鑄造技術進化的同時，對於可以應用在汽車上要求衝撞安全性的部品的高延性壓鑄鋁合金也有迫切的需求，因而針對符合這項特性要求的新合金材料也進行了開發。這項高品質鋁壓鑄用新合金的開發以德國的 Rheinfelden 公司爲主角，該公司到目前爲止計開發了 3 種具有特色的高延性壓鑄合金並且已經實用化，而且在新合金的用途方面，Rheinfelden 公司也和歐洲的汽車製造廠進行合作以開拓鋁合金壓鑄件的新用途。

二. 低 Fe-Al-Si-Mg 系壓鑄合金（Silafont-36™）

鋁合金壓鑄件有 90%以上是使用 Al-Si-Cu 系合金製造（ADC12），屬於泛用型壓鑄合金的 ADC12，其不純物元素的容許範圍寬，也不需要添加晶粒細化劑，是非常容易操作的材料。但是就其合金成份和品質來說，即使是採取高真空壓鑄技術，也難以獲得高韌性的壓鑄件。另外，屬於其他鑄造用合金的 AC4C

ITIS 智網 http://www.itis.org.tw
經濟部技術處 ITIS 計畫成果，未經同意不得轉載

雖然有時候也應用於高韌性壓鑄件，但其對於壓鑄模具內部的熔湯補給性差，因而在壓鑄件末端處有容易發生大縮孔的問題。

因此，爲了解決上述傳統合金的問題，於是開發了低 Fe-Al-Si-Mg 系壓鑄合金 Silafont-36（已納入 AA365 規範，以下僅以商品名稱表示以便與其他公司的合金有所區別）。Silafont-36 當初係爲了 Audi 公司的汽車空間桁架接頭構件採用壓鑄件的目的而開發，因此主要的要求特性是伸長率 15%以上以及焊接性，表 1 是 Silafont-36 的合金組成。

表 1　Silafont-36 的合金組成（mass %）

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Sr	其他
Min.	9.5	—	—	0.5	0.1	—	0.04	0.01	—
Max.	11.5	0.15	0.03	0.8	0.5	0.07	0.15	0.02	0.10

資料來源：www.alurheinfelden.com

Silafont-36 是以純度 99.85%以上的原生鋁錠爲基礎熔製，而爲了穩定其壓鑄件的品質，對於各合金元素的組成範圍都進行了狹窄而嚴格的設定與管理。其中爲了確保高延性，特別限制 Fe 的含量要低，以防止發生粗大 AlFeSi 化合物的析出。而 Mn 則是爲了防止合金對壓鑄模的黏附而添加的，因爲依經驗顯示，要防止黏附的話 Mn 含量最好是 0.4%以上。另外，雖然 Mg 的含量範圍規格較寬，但仍必須根據所要求的機械性質進行調整，有 0.13～0.19%、0.18～0.28%、0.24～0.35%三種組成可以分別使用。至於 Sr 則是爲了共晶 Si 的改良處理而添加，而對於耐蝕性有不良影響的 Cu、Zn 則屬不純物元素而受到嚴格限制。

表 2 是 Silafont-36F 材的機械性質，顯示依據 Mg 含量的不同其機械性質會隨之變化，例如隨著 Mg 含量的增加，其降伏強度會增加，伸長率則下降，所以機械性質可以透過 Mg 含量和熱處理條件的選擇來進行調整，圖 1 即是 Silafont-36 的機械性質與熱處理的關係，其數據係以取樣自各種壓鑄件實體的試片進行試驗而得。經過適當的選擇 Mg 含量和熱處理條件，Silafont-36 可以

得到降伏強度 100～280MPa，伸長率 5～22%的廣範圍機械特性。也就是說，在同時要求延性與高強度的場合，可以選用 Mg 含量 0.24～0.35%合金的 T5 或 T6 材料；而在要求高延性的場合，則可以選用 Mg 含量 0.13～0.19%合金的 T7 材料。

表 2　Silafont-36F 材的機械性質

Mg 含量（mass %）	0.2%降伏強度（MPa）	抗拉強度（MPa）	伸長率（%）
0.15	117	250	11.2
0.28	121	264	10.2
0.30	133	279	8.1
0.33	141	261	6.3
0.42	146	286	5.8

資料來源：www.alurheinfelden.com

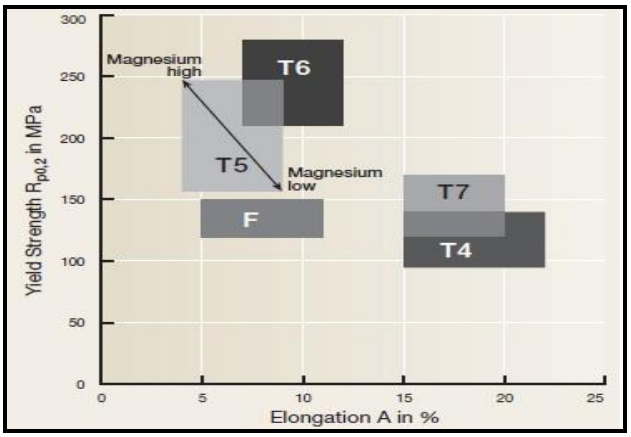

圖 1　Silafont-36 的機械性質與熱處理的關係
資料來源：www.alurheinfelden.com

與未添加 Sr 的 AlSi9MnMg 合金相比，添加了 Sr 的 Silafont-36 其共晶 Si 的形狀會從層狀變成微細的球狀化。也由於這項共晶 Si 的形狀改變，因而即使是 F 材也可以得到伸長率達 10%的高延性。透過固溶化處理的實施，雖然共晶 Si 會長大一些，但同時也會球狀化，而這項共晶 Si 的球狀化，就是使其 T7 材產生高延性的原因所在。

ITIS 智網　http://www.itis.org.tw
經濟部技術處 ITIS 計畫成果，未經同意不得轉載

三.非熱處理型高強度高延性 Al-Mg-Si 系壓鑄合金（Magsimal-59™）

Al-Si-Mg 系合金若要得到高強度高延性的話，必須實施包括固溶化處理在內的熱處理，這對於薄肉而大型的壓鑄件來說，往往會發生變形而導致尺寸變化，所以在熱處理之後還必須進行矯正作業。因此，有了開發不用熱處理就可以得到高強度高延性的壓鑄鋁合金的要求，爲了因應這項需求，於是開發出了低 Fe-AlMg5Si2Mn 合金（Magsimal-59）。

Magsimal-59 也是以純度 99.8%以上的原生鋁錠爲基礎熔製而成，Fe 含量限制在 0.2%以下，表 3 是 Magsimal-59 的合金組成。此合金的主要構成元素是 Mg、Si、Mn，組織則是由α 相和 Mg_2Si 共晶所構成，其中 Mg、Si 的含量要調整到 Mg_2Si 共晶率爲 40～50%（面積率）以得到良好的鑄造性與熔湯補給性，同時 Mg/Si 比爲 2.5 以上以確保其耐蝕性和α 相的強度。至於 Mn 則和 Silafont-36 的情況一樣，是爲了取代 Fe 以防止對金屬模的黏附而添加的。另外，由於 Al-Mg 合金在熔解時容易生成氧化浮渣，因此還要添加微量的 Be 以防止浮渣產生。

表 3　Magsimal-59 的合金組成（mass %）

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	其他
Min.	1.8			0.5	5.0				
Max.	2.6	0.2	0.05	0.8	6.0	0.07	0.20	0.004	0.2

資料來源：www.alurheinfelden.com

表 4 是 Magsimal-59 壓鑄件的機械性質及其與壓鑄件肉厚的關係。顯示肉厚愈大，也就是冷卻速度變得愈遲緩時，其強度有愈降低的趨勢，不過在壓鑄件的一般肉厚 4mm 以下就已經可以得到高強度高延性了。Al-Mg 系合金一般會擔心應力腐蝕破裂問題，在依據 ASTM G47-90 所進行的耐應力腐蝕性試驗結果顯示，Magsimal-59F 材不論在黑皮的狀態下或表面銑削的狀態下，都沒有發生應力腐蝕破裂的情況。

表 4　Magsimal-59 的機械性質

肉厚（mm）	0.2%降伏強度（MPa）	抗拉強度（MPa）	伸長率（%）
＜2	＞220	＞300	10～15
2～4	160～220	310～340	12～18
4～6	140～170	250～320	9～14
6～12	120～145	220～260	8～12

資料來源：www.alurheinfelden.com

Magsimal-59 和 Al-Si 系合金相較，其凝固收縮率大，因此在模具設計上必須特別注意，並採取脫模斜度 1.5°以上等適合 Magsimal-59 性質的鑄造條件，表 5 是 Magsimal-59 的壓鑄相關特性及其與其他合金的比較。

表 5　Magsimal-59 的壓鑄相關特性

	Silafont-36	Magsimal-59	AlMg3Mn	ADC12
凝固溫度範圍（℃）	590～550	618～580		580～515
熱間破裂傾向	無破裂	小	大	無破裂
對金屬模的黏附	小	小	大	小
線收縮率（%）	0.4～0.6	0.6～1.1	0.9～1.3	0.4～0.6
模具壽命	100%	90%	70%	120%

資料來源：素形材，2009.09

ITIS 智網　http://www.itis.org.tw
經濟部技術處 ITIS 計畫成果，未經同意不得轉載