

汽機車用壓鑄鋁合金發展動向（二）

金屬中心 ITIS 計畫 劉文海

出版日期：2011.03.16

2.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，為了因應這項需求，於是開發出了低 Fe-AlMg5Si2Mn 合金（Magsimal-59）。

Magsimal-59 也是以純度 99.8% 以上的原生鋁錠為基礎熔製而成，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 共晶率為 40~50%（面積率）以得到良好的鑄造性與熔湯補給性，同時 Mg/Si 比為 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，是為了取代 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.alurheinfeld.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.alurheinfeld.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(°C)	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

3.易鑄造性 Al-Si-Mn 系壓鑄合金 (Castasil-37™)

隨著車體部品的擴大採用高延性壓鑄合金，運用壓鑄特點的大型一體化部品也已經實用化。由於車體用部品要求高延性（伸長率 12%以上），而先前所開發的 Silafont-36 必須實施固溶化等熱處理，因而爲了確保組裝精度，在熱處理後往往必須對變形進行矯正作業，因而出現了開發不實施熱處理而直接在鑄造狀態下就可以得到高延性的材料的要求。另外，對於引擎周邊所使用的部品，也希望不會因爲來自於引擎的熱而使其材質發生變化。在這樣的背景之下，不會因爲高溫環境

下的時效而產生材質變化、鑄造性良好、在鑄造狀態下就可以獲致高延性（伸長率 12%以上）的 Al-Si-Mn 系壓鑄合金(Castasil-37)於是被開發出來，表 6 是 Castasil-37 的合金組成，其 Mg 含量在 0.06%以下，而且添加了 Mo 和 Zr。透過對 Mg 含量的限制，可以防止鑄件使用時的經年時效硬化，而另一方面，添加過渡元素 Mo 和 Zr 則是用來彌補因為 Mg 含量的降低而導致的降伏強度減少。Castasil-37 之共晶 Si 以 Sr 進行改質處理之後和 Silafont-36 同樣地可被細化，而且比 Silafont-36 還要更加微細。

表 6 Castasil-37 的合金組成 (mass %)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Mo	Zr	Ti	Sr	其他
Min.	8.5			0.35						0.006	
Max.	10.5	0.15	0.05	0.60	0.06	0.07	0.3	0.3	0.15	0.025	0.10

資料來源：www.alurheinfeld.com

表 7 是 Castasil-37F 材的機械性質，顯示其符合汽車製造廠對於車體部品用材料所要求的肉厚 3mm 時的降伏強度達 120MPa 以上，伸長率 12%以上的要求。表 8 則是針對壓鑄件內部的機械性質安定性而對 Castasil-37 和 Silafont-36 所進行的比較，其試驗係從鑄件重量約 6kg 的汽車用壓鑄件上取樣製作試片來求得機械性質，針對材質最為敏感的伸長率特性進行評估。結果顯示 Silafont-36 在澆口附近有高的伸長率，但在反澆口側的伸長率則變低。相對地，Castasil-37 在澆口側和反澆口側的伸長率並沒有大的差異，都呈現高伸長率，這種壓鑄件整體都呈現出高而安定的伸長率是 Castasil-37 的重要特徵。

汽車車體部品在組合的時候，無可避免地需要和鋁板材、擠型材，還有鋼材、塑膠等異種材料進行接合，而 Castasil-37 也已經建立了與異種材料的自攻鉚釘（self-piercing rivet）接合技術。

表 7 Castasil-37 的機械性質

肉厚 (mm)	0.2%降伏強度 (MPa)	抗拉強度 (MPa)	伸長率 (%)
2~3	120~150	260~300	10~14

3~5	100~130	230~280	10~14
5~7	80~110	200~250	10~14

資料來源：www.alurheinfeld.com

表 8 大型壓鑄件內部的伸長率值分布 (%)

鑄件部位	澆口附近	反澆口部 I	反澆口部 II
Silafont-36	12.7	6.6	9.7
Castasil-37	14.9	13.8	13.8

資料來源：素形材，2009.09

四、結語

鋁合金壓鑄件以引擎周邊的殼罩類部品為中心而廣泛使用在汽車上，不過，到目前為止壓鑄所使用的鋁合金是 ADC12 等以二次鋁錠為基礎的合金，不純物元素的容許範圍大，因此壓鑄件在品質上並不適合於要求高韌性的結構件。

近年來，由於以經過嚴格控制 Fe、Cu、Zn 等不純物元素的一次鋁錠為基礎的壓鑄合金的開發，以及以高真空壓鑄法進行鑄造，已經可以得到足以應用在汽車的車體、懸吊、機車等之構造部品的高韌性壓鑄件。這些開發的合金計有透過熱處理即可以因應廣範圍機械特性要求的 Al-Si-Mg 系合金 (Silafont-36)、非熱處理型而可以得到高強度高延性的 Al-Mg-Si 系合金 (Magsimal-59)，以及易鑄造性非熱處理型而可以得到高延性的 Al-Si-Mn 系合金 (Castasil-37)，活用這些合金的各個特性，各種汽車構造部品已經可從鋼板沖壓件的焊接構造改換成壓鑄件了。另一方面，新材料壓鑄件的利用法也從當初對鋼材的單純材料置換，演進到目前的活用壓鑄件的原本優點，積極採取部品的統合化與一體化、構造的最適化、符合必要強度與剛性的肉厚最適化、薄肉大型化、非熱處理材的活用等作法，其透過壓鑄件的採用而提升部品剛性以及達成輕量化、經由焊接點數的減少而提升部品精度與組裝精度、生產工程的合理化等好處已經獲得實證。

高延性壓鑄鋁合金的市場目前估計大約是 2 萬噸/年，不過在活用壓鑄件的特性以及部品構造的最適化設計之下，可望進一步提升部品性能及降低成本，預期使用高延性壓鑄鋁合金的高品質壓鑄件的用途將從高級車、跑車進一步往中級

車、普通車擴大。