

鎂在深閩人未識 — 鎂鋁、鎂鋅合金

2015-03-23 中國鎂業供應鏈服務平臺

用途最廣的鎂鋁系合金

鋁是鎂合金最主要的合金化元素，是當下牌號最多、應用最廣的鎂合金，常用的鑄造鎂-鋁合金有 AZ81A、AZ81S、AZ91D、AZ91S、AZ63A、AM20S、AM50A、AM60B、AM100A、AS215、AS41B、AS41S 等。鎂-鋁合金通常還含有少量的 Zn、Mn、Si 等，在應用的鎂合金中，鎂-鋁系合金占 65%左右，而在工業應用的鑄造鎂合金中，鎂-鋁系合金又佔有 85%以上。常用的變形鎂-鋁合金有：AZ31B、AZ61A、AZ80A、AZ10A 等。

Mg-Al 系相圖屬共晶型，在共晶溫度 437°C 時，鋁在鎂中的溶解度為 12.7%，而在室溫時僅約為 2%，鋁含量大於 6%的合金屬熱處理可強化的。在工業上應用的鎂-鋁合金中。鋁含量一般不超過 10%，否則合金的各項性能會有不同程度的下降。鋁可以提高鎂的各項性能，含鋁 6%左右的鎂合金具有最高的強度和伸長率。

Mg-Al 合金通常還含有少量的鋅與錳，鋅可以溶於固溶體，產生進一步的固溶強化，並能稍稍改善抗腐蝕性能。可是鋅卻使含 7%~10%鋁的鎂合金的熱收縮率上升。加入的 Mn 可與鋁形成針狀或短棒狀化合物。合金中的雜質鐵在淬火時還可能析出 AlFe 化合物。

鑄造鎂-鋁合金一般含 6%~10%Al，用於鑄造大型薄壁複雜零件，常用的合金有 AZ63A、AZ81A、AZ91A-E、AZ92A、AM100A，還研發出有特殊用途的壓鑄合金，如高純的低鋁合金 AM60A、AM60B、AM50A、AM20 等，它們有高的斷裂韌性，因為晶界上的 Al₁₂Mg₁₇ 化合物質點大大減少，多用於鑄造車輪、座椅框架、方向盤等汽車零件。變形鎂-鋁合金的鋁含量一般≤8%，鋅的含量≤1.5%，典型的合金為 AZ10A、A31B、AZ31C、AZ61A、AZ80A 等，用於鍛壓零件與軋製板、帶，以及擠壓、棒、型、管材等，AZ80A 合金約含 8%Al，雖有高的強度與可進行固溶時效處理，但有相當嚴重的應力腐蝕傾向，已大量被有更好性能的 Mg-Zn-Zr 系合金取代。

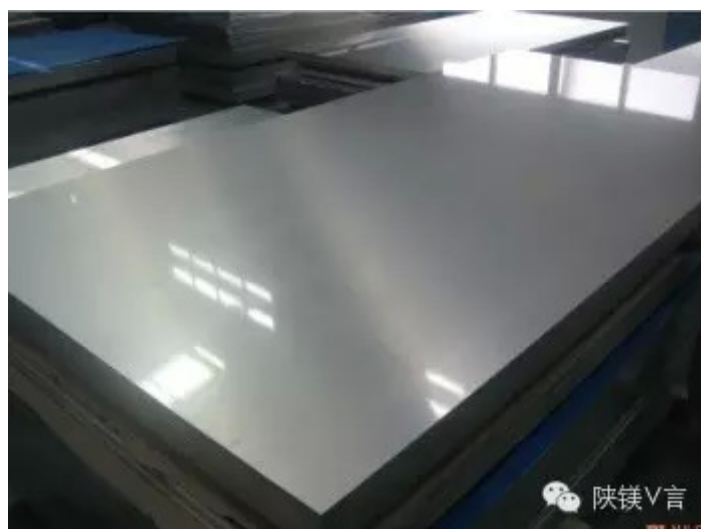
Mg-Al 系合金雖有良好的力學性能、鑄造性能和抗大氣腐蝕性能，是目前室溫下應用最廣泛的鎂合金，但是當溫度高於 120°C 後，AZ 系及 AM 系合金的強度性能會急劇下降，因為 Al₁₂Mg₁₇ 的熔點為 460°C，在溫度高於 120°C 時成為軟質相，不能有效地釘紮晶界，於是通過晶界滑移發生滑移。向 Mg-Al 合金添加 1%Ca 可以提高合金的蠕變強度，但是鈣的含量不能>1%，否則合金具有熱

裂傾向。降低鋁含量而加入矽，也可以提高蠕變強度，從而開發出了如 AS41A、AS41B、Al21 等這樣的 AS 系鎂合金。因為降低鋁含量可以減少 Al₁₂Mg₁₇ 質點，而 Si 與 Mg 可形成細小的 Mg₂Si 質點，阻礙晶界移動。AS21 合金的鋁含量低，蠕變強充比 AS41A、AS41B 合金的高，但是鑄造性能差。雖然 Mg-Al-Si 系合金有高的抗蠕變強度，但還是不如 A380 鋁合金的。

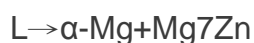
向 Mg-Al 系合金添加 RE 元素，可以進一步提高合金的抗蠕變強度，如 AE42 合金的抗蠕變強度不但比 Mg-Al-Si 系合金的高，而且有更好的綜合性能，不過稀土的價格昂貴。稀土元素對 Mg-Al 合金蠕變性能的影響機制至今仍元統一的想法。一般認為，抗蠕變強度的提高是由於晶界上形成了大量的阻礙晶界滑移的 Mg₁₂RE 質點，不過應注意的是，Mg-Al-RE 合金只適於壓鑄，因為壓鑄時的冷卻速度快，可形成細小的 Mg₁₂RE 質點，否則會形成粗大的 Mg₁₂RE 化合物，使性能變壞。

以 AZ 合金為基礎，提高鋅含量降低鋁含量開發的 ZA104 合金是一種蠕變強度較高且鑄造性能較好成本也不高的合金。日本研發的 Mg-5Al-2Ca-2RE-0.3Mn 合金具有比 AE42 合金更高的抗蠕變強度，而且其耐熱性與抗蝕性與 A384 鋁合金的相當，還有良好的可鑄造性能。

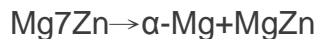
有時效強化能力的鎂鋅系合金



鋁是鎂合金的第一大合金化元素，那麼鋅就是它的第二大合金化元素，鋅在鎂中的最大固溶度為 62%，且隨著溫度下降而減少，因此除有固溶強化作用外，還有一定的時效強化作用。鋅可消弱合金中鐵、鎳等雜質對其抗腐蝕性能的不利影響，鋅可與鎂形成 Mg₇Zn，在 340°C 發生共晶反應，共晶點為 51.2%Zn，即



溫度下降到 312°C 時發生共析反應，即



合金的室溫平衡組織為 $\alpha\text{-Mg} + \text{MgZn}$ ，溫度降低時可以 $\alpha\text{-Mg}$ 固溶體中析出強化相 MgZn 。鎂-鋅系合金可形成連續的 GP 區和連續的中間析出相，因而不能通過過熱或變質處理細化晶粒。二元 Mg-Zn 合金的凝固溫度區間大，流動性差，易產生顯微疏鬆，也不易細化晶粒。因此，幾乎沒有商業使用價值，鎂-鋅合金的時效過程非常複雜。

目前獲得工業應用的鑄造鎂-鋅系合金的鋅含量為 4%~6%，含 5%Zn 的合金具有最高的強度性能，再增加鋅含量，合金的力學性能全面下降。另外，鋅會引起合金出現顯微疏鬆和增大熱裂傾向。

鎂-鋅合金有時效強化能力，Mg-5Zn 合金可在 204°C 時效處理 5h~10h，溫度低時，時效強化效果緩慢。工業 Mg-Zn 合金的鋅含量不得大於 6%，向合金中添加少量的 Mn、Cu、RE 等可改善合金的性能，形成有優秀綜合性能的新型鎂-鋅合金。

在 Mg-Zn 合金中加入 Cu 可以顯著提高合金塑性和時效強化效果。Mg-Zn-Cu 合金鑄件的力學性能與 AZ91 合金的相當，而且有更好的高溫穩定性，如砂型鑄造的 ZC63 合金。加入銅可以提高 Mg-Zn 合金的共晶溫度，因而可在更高的溫度下進行固溶處理，可以提高 Zn 及 Cu 在鎂中的固溶量，同時共晶體中化合物的形貌也生了變化，Mg-Zn 化合物以離異共晶形式分佈於晶界及枝晶間，大部分 Cu 以化合物形式存在於共晶相 $\text{Mg}(\text{Cu}, \text{Zn})_2$ 中，因而減少了 Cu 對合金抗蝕性的不利影響。Mg-Zn-Cu 合金用於鑄造汽車零件，但還需提高合金的抗腐蝕性能。

向 Mg-Zn-Cu 合金中再添加 Mn，形成的四元合金 ZC71 也有時效硬化作用，用於生產擠壓產品。

在含鋅量小於 4% 的鎂合金中添加 $\geq 0.5\% \text{Ca}$ ，可形成 Mg_2Ca 和 $\text{Mg}_5\text{Ca}_2\text{Zn}_5$ 化合物，可於 167°C 以下從固溶體中析出，提高合金的抗蠕變強度，這些化合物在 167°C 以上粗化，使合金的抗蠕變能下降，增加鋅含量，合金的抗蠕變能力也會下降。含鋅量較高的鎂-鋅-鋁合金 ZA142、ZA144 的抗蠕變強度顯著高於 AZ91 合金的。Sr 也可以提高鎂-鋅合金的抗蠕變強度，但 Sr 的效果比 Ca 的大。

Mg-Zn 合金通常含有 $>0.5\%$ 鋯，鋯有明顯的晶粒細化作用。Mg-Zn-Zr 合金的鑄造組織為 $\alpha\text{-Mg}$ 固溶體和塊狀 Mg-Zn 化合物與少量的 Zn_3Zr_2 金屬化合物。典型的鑄造 Mg-Zn-Zr 合金有 ZK51A、ZK61A，變形合金有 ZK21A、ZK31、ZK40A、

ZK60A、Z616A。鑄造合金的狀態為 T1 或 T6，而擠壓材料及鍛件僅在 T6 狀態下應用。

含鋁量高的鎂-鋅合金不易加工與鑄造，為了解決工藝上的固難，可降低鋅含量或添加稀土與鈦，從而研發出 Mg-Zn-RE-Zr 系合金與 Mg-Zn-Th-Zr 系合金，前一類合金如 ZE41A，人工時效後具有中等強度，已用於鑄造直升機傳動箱體；後一類合金有 ZH62A，不過此合金現在已幾乎不用了。

RE 的添加不僅改變了鎂-鋅合金鑄態組織中原有二元相的結構形態，而且生成了一種新的三元化合物 T 相，它的成分範圍甚廣；另外還改變了合金的時效硬化特性，阻礙 β 相的析出，推遲過時效的發生。