

## 第五章 壓鑄合金材料

用於壓鑄生產之合金材料有錫、鉛、鋅、鋁、鎂、銅等，其中以鋅、鋁合金應用最廣，鎂、銅合金次之。

壓鑄合金材料的基本要求：

1. 流動性好
2. 收縮率、龜裂傾向小
3. 等溫凝固比率(isothermal solidification percentage)大，如此方可產生緻密之鑄件，避免縮孔之危害
4. 有一定之高溫強度，頂出時才不致變形
5. 常溫下有足夠強度，以利生產薄壁件
6. 不易與模具起化學或物理反應，否則黏模，影響量產
7. 良好之被加工性和抗腐蝕性

### 5.1 潛熱(latent heat) (1)

冷卻曲線如圖5.1，純金屬物從熔融冷卻時必經歷一等溫相變(液→固)過程，此時釋放之熱量為潛熱(latent heat)。然合金從熔融到冷卻時其相變卻非等溫過程(圖5.2)，而是一溫度區間(共析eutectic合金除外)，此範圍內液、固相共存，過程釋放之潛熱則為各純物所佔成份比之和。共析組成以Al-Si 二元素合金來講為Si: 12.6%，Zn-Al 則為 Zn: 3%。表5.1為各純物之潛熱，值得注意的是鋅、鎂純金屬之單位體積之潛熱近似且遠低於鋁，故其合金在壓鑄充填時間、模具冷卻水道、生產週期(cycle time)之考量較近似。高潛熱之矽對鋁壓鑄合金之流動性有極大的幫助。常用壓鑄

合金因主要成份都為二元素或三元素之合金，如表5.4所示壓鑄鋁合金為Al-Si、Al-Si-Cu、Al-Si-Mg或 Al-Mg為主要組成；表5.11所示鋅合金以Zn-Al、Zn-Al-Cu為主要成份。同時研究各成份元素對一合金之影響會變得非常複雜，固通常分別研究二元合金(binary alloy)，再考量其它元素之影響。例如Al-Si-Cu則分別對Al-Si和Al-Cu做研究。了解二元素合金的特性可進一部推論幫助了解合金的性質，故以下挪一些篇幅介紹二元合金的性質。

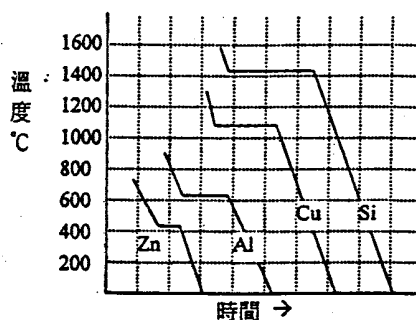


圖5.1

表5.1 各元素的潛熱

元素	融點°C	潛熱(latent heat)	
		cal/g	cal/cm <sup>3</sup>
鋁Al	660.2	94.6	261.2
銅Cu	1083	50.6	425.6
鎂Mg	650	89	153.7
矽Si	1430	237	—
鋅Zn	419	24.09	153.7

### 5.2 鋁合金 (4)

#### 5.2.1 純鋁

純鋁延性高，沒什麼強度。高純度鋁其凝固收縮高達6.6%，通常只用於馬達轉子之壓鑄。99.3%純度

之鋁其導電率(conductivity)為標準銅之54%。其它雜質為鐵(Fe)和矽(Si)，其作用目的有防止黏模、提高高溫強度等。

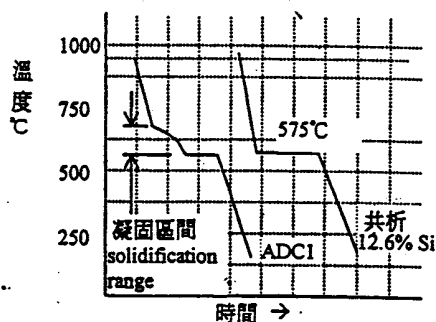


圖5.2

### 5.2.2 Al-Si 合金 (1)

矽(Si)為鋁合金中最重要之元素，隨含量的增加，流動性也隨之增加。Si含量如果為亞共析(hypoeutectic, Si含量<12.6%)組成，凝固冷卻過程會先析出鋁(學術稱 $\alpha$ 相)基地，直到Al-Si熔融液中Si濃度含量達共析組成12.6%，再全部同時作等溫凝固析出共晶組織；Si含量如果為過共析(hyperutectic, Si含量>12.6%)，凝固冷卻過程則會先析出矽直到Si濃度含量降低到共晶成份。矽性硬且脆，應避免其大塊存於鋁合金基地(matrix)中以免對鑄件造成不良影響。

表5.2 為Al-Si 二元合金Si含量對合金性質影響之整理，說明如下。

表5.2 Si含量的影響

Si含量增加↑	流動性	耐磨性	硬度	強度	加工性	凝固收縮量	延性
影響 (↑:增加; ↓:減少)	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓

#### 1 調質(silicon modification)

由於壓鑄製程的快速冷卻，矽之尺寸往往較細而散佈。不過實驗顯示在壓鑄製程中調質仍可將較不佳

之針狀或片狀共析組織打散成球狀，改善延性及機械加工性。亞共析成份之鋁合金可用0.001%~0.003%的鈉(Na)、0.1%~0.2%的銦(Sr)、0.001%~0.003%的鈣(Ca)或0.1%的銻(Sb)來改善組織；過共析成份之鋁合金因先析出矽(Si)可用來0.01~0.03%的磷(P)來改善組織。

### 2 高溫強度(Hot Strength)

高溫強度為合金在固相線溫度以降展現足夠強度的能力。因壓鑄量產為求快，越高溫頂出產出越快。Si含量幫助高溫強度的提升。Si同時大為降低凝固收縮量，使縮孔問題降低，對有氣密要求的鑄件非常重要。Si對增進流動性有幫助(圖5.3)，因其高潛熱關係其最高流動性發生在過共析處而非共析處。參考資料〔2〕指出雖然Si含量能降低收縮量幫助達成氣密要求，但對厚薄不均一之鑄件高矽(因趨近等溫凝固)反而會阻礙壓力之傳遞，其實驗顯示矽含量9%之A380反而較矽含量11%之A383材縮孔少。

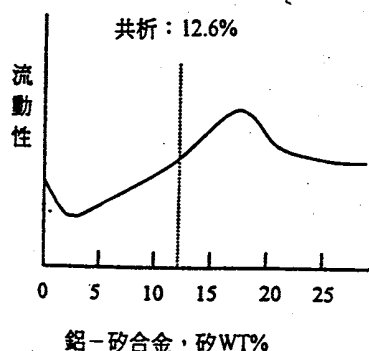


圖5.3

### 3 機械性質

Si含量增加，強度、硬度也會跟著增加，導電性降低。Si本身硬度很高，過共析鋁合金(ADC14)耐磨性高可與鑄鐵匹比，常用來做活塞、引擎本體。

### 4 耐蝕性

Al-Si合金耐蝕性極佳只略輸Al-Mg合金。若為提高耐蝕性亦可做陽極處理，但因其矽含量表面呈灰黑色。陽極處理亦會更突顯壓鑄流紋。

### 5.2.3 Al-Cu 合金 (1)

在Al-Cu 合金凝固過程中在固相線(solidus)溫度548°C時銅在鋁中之固溶量為5.65%，而室溫時固溶量為0.5%，因此含銅之鋁合金有於熱處理之效果。

ADC10壓鑄後會隨時間強度、硬度逐漸變高、韌性變低，即為Cu漸漸析出所造成，是故整平、矯正須在壓鑄後24 hrs以內為之。對於尺寸精度要求很高之鑄件，可以154°C保持3-5hrs做強迫時效硬化處理，以減低日後之析出變形；8 hrs則可完全免除日後之析出變形。

Cu亦可提高高溫強度，鑄件使用環境如果溫度高於121°C，Cu含量最好為3~5%，但由於壓鑄製程之急速冷卻過程抑止某些相的析出，是故Cu含量為3~4%反而抗熱裂性較差，略低之383合金反而較380好。

Cu含量亦能增進流動性但效果不若Si顯著。

Cu含量會使鋁合金之防蝕能力變差。類似陰極防蝕法之機制，鋁化學活性較高(表5.3)會犧牲自己以保護固溶其中之銅，是故Cu含量越高，該鋁合金之防蝕能力越差。注意鋁合金對強鹼性溶液或環境防蝕能力很差。船用鋁合金364其Cu含量都低於0.2%以適用於海水防蝕。廚具用品常要求Cu含量低於0.3%以避免Cu與水中之氯化物產生斑點。電氣接頭或外殼則因防爆安全考量常要求Cu含量低於0.4%。一般來說Cu含量低於1.0%防蝕能力即屬不錯，高於1.0%稱為高銅鋁合金，低於1.0%稱為低銅鋁合金。

表5.3 電化學活性

鎂 Mg	
鋁 Al	
鋅 Zn	
鎳 Co	
鐵 Fe	
錫 Sn	
鉛 Pb	
鎳 Ni	
銅 Cu	
銀 Ag	
金 Au	

↑

越  
高

### 5.2.4 Al-Mg合金 (1)

鎂(Mg)成份由於極易氧化、流動性不佳、凝固收縮大，除非熔解及模具設計技術良好很難得到少流紋之壓鑄品。故在壓鑄合金中Al-Mg 合金系只有二種且使用量不多。

氯氣或氯氣加氮氣為良好之去氧化物之方法，固體除渣餅(不可含鈉，Na)效果較差。鈹(Be)含量至0.02~0.04%可抑制氧化程度，須注意BeO有毒性，使用時注意通風。

Al-Mg合金鑄件之機械性質、機械加工性、防蝕性、延性都屬上乘。鋁合金隨Mg含量的增加，抗拉強度硬度都上升。380中規定Mg含量為0.3~0.5%，即Mg提高強度、硬度、機械加工性。

### 5.2.5 Al-Si-Cu、Al-Si-Mg三元合金 (1)

三元合金為前述二元合金的折衷綜合體。

壓鑄最常用的合金為Al-Si-Cu系三元合金，其組成為Al、Si、Cu，故合金性質實為前述二元合金Al-Si、Al-Cu的折衷綜合體。ADC12(表5.4)相較於ADC10因銅含量略低、矽含量略高在各方面有較優的性質，為目前最常用合金。

Al-Si-Mg合金有良好之強度、耐蝕性和延性。此類合金中會析出Mg<sub>2</sub>Si。在高溫(639°C)時Mg<sub>2</sub>Si的固溶量為1.85%，室溫時為0.25%。Mg<sub>2</sub>Si有提高硬度、強

度的作用，但會降低延性。合金中Mg含量需 $>0.2\%$ 才有效用。ADC3的高溫強度與ADC10相當，耐蝕、可生產耐氣密的鑄件。ADC3亦會時效硬化，但程度較含Cu者低。

## 5.2.6 其它各雜質成份之影響 (1)

### 1. 鐵(Fe):

鐵少量可增加鋁合金的強度、硬度，幫助提升高溫強度以避免鑄件熱裂。鋁有親鐵性，會侵蝕鐵。合金中鐵含量 $0.7\% \sim 1.2\%$ 可減輕鐵坩鍋、模具被鋁合金的溶蝕。重力鑄造只要些微( $>0.2\%$ )的鐵含量就會產生易脆的鐵化合物組織，而壓鑄製程因有較快的冷卻速率限制了含鐵化合物的尺寸和形狀。但若鐵含量超過 $1.2\%$ 時仍會形成大、片狀有害的鐵化合物，且會減低流動性與鑄造性。鐵含量在 $1.5\% \sim 2.0\%$ 時，可藉錳、鉻抑制有害針狀組織 $FeAl_3$ (圖5.4)的形成而成較無害的中文字形鐵錳化合物(圖5.5)。但需注意避免造成沈渣(sludge)的形成。下式可檢驗鐵、錳、鉻含量是否適當：

$$\%Fe + 2.2\%Mn + 3.3\%Cr \leq 1.8\max$$

鐵、錳、鉻化合物會造成加工切削問題，影響鋁液流動性。且較鋁液密度高，終會沈澱，則原鋁液鐵含量變小，易生黏模問題。



圖5.4 380合金之金相組織。鐵含量 $2\%$ 。針狀 $FeAl_3$

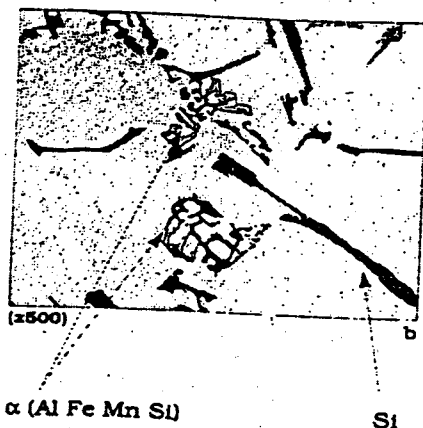


圖5.5 383合金之金相組織。“中文字形鐵錳化合物”

### 2. 鋅(Zn):

因鋁合金多為再生鋁，雜質放寬價格相對較便宜。Al-Zn二元合金的試驗中，室溫鋅的最大固溶量為 $2\%$ ，故鋅含量在 $3\%$ 以下為壓鑄鋁合金規範中所容許。太高( $3\%$ 以上)會造成高溫強度不足、鑄件在模中熱裂，鑄件強度變低。

### 3. 鎂(Mg):

在Al-Si-Cu合金中鎂視為雜質，在Al-Si-Mg合金中鎂含量不能小於 $0.2\%$ 。不過如要求A380(ADC10)或413鑄件有更高強度、硬度可提高鎂含量再經過 $154^\circ\text{C}$ 、 $2 \sim 5$ 小時的熱處理。基本上來講鎂含量增加，強度、硬度、剛性增加，流動性降低。

### 4. 鎳(Ni):

鎳在規範中容許量為 $<0.5\%$ 。對於鑄件有特殊需求在較高溫使用，鎳含量 $2 \sim 2.5\%$ 可提高其強度及降低熱膨脹性。例如活塞用合金及383(ADC12)料。

### 5. 磷(P)、鈉(Na)、鈣(Ca)、銦(Sr):

磷用於過共析、鈉用於亞共析Al-Si合金中，對矽(Si)都有調質作用。鈣亦有同樣作用，但較鈉差。此等元素過量都會造成浮渣(dross)過多。銦用於調質時需注意熔湯溫度不可超過 $760^\circ\text{C}$ ，否則會嚴重吸氫。

### 6. 鈦(Ti):

鈦、硼(B)、鋯(Zr)都能提供成核(nucleation)析出處，達細化效果。冷卻速率快的壓鑄製程則不需藉助其幫助。壓鑄裏視鈦與鐵的效果相當。鈦含量 $>0.25\%$ 會形成硬質化合物，對加工過成困擾。

表5.4所示近似對照表為商業化可市購鋁合金壓鑄材料。須注意並非各國規範成份完全一樣，實際成份需參較各國原規範。表5.4為各國鋁合金壓鑄材料近似對照表。表5.5美國鋁合金壓鑄材各規範編號對照表。

### 5.2.7 鋁合金壓鑄材料規範

表5.4各國鋁合金壓鑄材料近似對照表 (3), (4)

合金系	CNS 編號	JIS 編號 (H5302)	AA/ASTM (1984)	SAE J452	ISO (DIS3522)	NFA57-703/2(1981)	BS 1490	DIN 1725 (1986)	Italy (UNI)
Al-Si系	1種	ADC1	A413	305	Al-Si12CuFe	A-S12Y4	LM20	GD-AlSi12(Cu)	5079
Al-Si-Mg系	3種	ADC3	A360.0	309	-	A-S9GY4	LM9	GD-AlSi10Mg	5074
Al-Mg系	5種	ADC5	518.0	-	-	A-G6Y4	LM5	GD-AlMg9	3058
Al-Mg系	6種	ADC6	515.0	-	-	A-G3T	-	-	-
Al-Si-Cu系	10種	ADC10	B380.0	306	AlSi8Cu3Fe	A-S9U3Y4	LM24	GD-AlSi9Cu3	5075
Al-Si-Cu系	10種Z	ADC10Z	A380.0	306	AlSi8Cu3Fe	-	-	GD-AlSi9Cu3	-
Al-Si-Cu系	12種	ADC12	383.0	383.0	-	-	LM2	-	-
Al-Si-Cu系	12種Z	ADC12Z	383.0	383.0	-	-	LM2	-	-
Al-Si-Cu系	14種Z	ADC14	B390.0	A23900	-	-	LM30	-	-

表5.5美國鋁合金壓鑄材編號對照表 (5)

美產業習用編號		13	A13	380	A380	360	A360	43	218	383	384
主要成份		Si 12%		Cu 3.5% Si 8.5%		Mg0.5% Si9.5%		Si 5%	Mg8%	Cu2.5% Si10.5%	Cu3.8% Si 11%
協會	規範	編 號									
ASTM	B85	Si2B	Si2A	SC84B	SC84A	SG100B	SG100A	S5C	G8A	SC102A	SC114A
SAE	J453b		305	308	306		309	304			303
FED	QQA-591E	13	A13	380	A380	360	A360	43	218		SC114A
AA		413.0	A413.0	380.0	A380.0	360.0	A360.0	443.0	518.0	383.0	384.0

表5.6 NADCA壓鑄鋁合金材特性比較表 (5)

合金類別	熔點 °C	抗熱裂 resistance to hot cracking	氣密性 pressure tightness	充填性 Die-Filling	防粘模性 Anti-soldering	防蝕性 Resistance to Corrosion	機械加工性 Machining	拋光性 Polishing	電鍍性 Electroplating	陽極氧化性 Anodizing	化學氧化膜 Chemical Oxide Coating(Protection)	高溫強度 Strength at Elevated Temp
13, A13	574-582	1	1	1	1	2	4	5	3	5	3	3
380, A380	538-593	2	2	2	1	4	3	3	1	3	4	3
43	574-632	3	3	4	4	2	5	4	2	2	2	5
218	535-621	5	5	5	5	1	1	1	5	1	1	4
360, A360	557-596	1	2	3	2	2	3	3	2	3	3	1
383	516-582	1	2	1	2	3	2	3	1	3	4	2
384	516-582	2	2	1	2	5	3	3	2	4	5	2

註：1表最佳，2次之，以下類推

表5.7 JIS鋁合金壓鑄材料成份規範表(6)

編號	化學成份								
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
ADC1	1.0	11.0~13.0	0.3max	0.5max	1.3max	0.3max	0.5max	0.1max	其餘
ADC3	0.6max	9.0~10.0	0.4~0.6	0.5max	1.3max	0.3max	0.5max	0.1max	其餘
ADC5	0.2max	0.3max	4.0~8.5	0.1max	1.8max	0.3max	0.1max	0.1max	其餘
ADC6	0.1max	1.0max	2.5~4.0	0.4max	0.8max	0.4~0.6	0.1max	0.3max	其餘
ADC10	2.0~4.0	7.5~9.5	0.3max	1.0max	1.3max	0.5max	0.5max	0.3max	其餘
ADC10Z	2.0~4.0	7.5~9.5	0.3max	3.0max	1.3max	0.5max	0.5max	0.3max	其餘
ADC12	1.5~3.5	9.6~12.0	0.3max	1.0max	1.3max	0.5max	0.5max	0.3max	其餘
ADC12Z	1.5~3.5	9.6~12.0	0.3max	3.0max	1.3max	0.5max	0.5max	0.3max	其餘
ADC14	4.0~5.0	16.0~18.0	0.45~0.65	1.5max	1.3max	0.3max	0.3max	0.3max	其餘

以上摘自JIS H5302

表5.8 美鋁合金壓鑄材料成份規範表(5)

編號 AA/ASTM	化學成份									
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	雜質	Al
413.0/S12B	1.0	11.0~13.0	0.1	0.5	2.0	0.35	0.5	0.15	0.25	其餘
A413.0/S12A	1.0	11.0~13.0	0.1	0.5	1.3	0.35	0.5	0.15	0.25	其餘
380.0/SC84B	3.0~4.0	7.5~9.5	0.1	3.0	2.0	0.5	0.5	0.35	0.5	其餘
A380.0/SC84A	3.0~4.0	7.5~9.5	0.1	3.0	1.3	0.5	0.5	0.35	0.5	其餘
443.0/S5C	0.6	4.5~6.0	0.1	0.5	2.0	0.35	0.5	0.15	0.25	其餘
518.0/G8A	0.25	0.35	7.5~8.5	0.15	1.8	0.35	0.15	0.15	0.25	其餘
360.0/SG100B	0.6	9.0~10.0	0.4~0.6	0.5	2.0	0.35	0.5	0.15	0.25	其餘
A360.0/SG100A	0.6	9.0~10.0	0.4~0.6	0.5	1.3	0.35	0.5	0.15	0.25	其餘
383.0/SC102A	2.0~3.0	9.5~11.5	0.1	3.0	1.3	0.5	0.3	0.15	0.5	其餘
384.0/SC114A	3.0~4.5	10.5~12.0	0.1	3.0	1.3	0.5	0.5	0.35	0.5	其餘
390.0/-	4.0~5.0	16.0~18.0	0.45~0.65	0.1	0.6~0.1	0.1	-	-	0.2	其餘

### 5.3 鋅合金 (1)

鋅合金對成份的要求最為嚴苛，高純度的鋅可以減少鎂成份的需求。鎂可抑止其它雜質所造之晶界腐蝕效應，但本身卻會減低高溫強度、延性、流動性。

晶界腐蝕現象為某元素超過鋅合金容許固容量後在晶界析出，若又恰處在潮濕環境便會產生晶界腐蝕 (granular corrosion)，此伴隨膨脹現象最後造成鑄件支解。會造成晶界腐蝕的原素有砷(As, arsenic)，鉍(Bi, Bismuth)，鈣(Ca, Calcium)，銦(In, Indium)，鉛(Pb,

lead)，汞(Hg, mercury)，硒(Se, selenium)，鈉(Na, sodium)，鉭(Ta, tantalum)，鉍(Tl, Thallium)，釷(Th, Thorium)，錫(Sn, Tin)，鎢(W, tungsten)等。現今之高品級鋅合金已少見上述雜質。ASTM、SAE等規範有訂定鉛、鎢、錫之上限含量，鉛：0.005%max、鎢：0.004%max、錫：0.003%max，如此鎂含量只要0.02%即足以防止晶界腐蝕現象發生。

鋅合金之凝固收縮率為7.28%，高於鋁之6.6%，故產品設計應避免厚斷面，儘量保持均勻壁厚。

鋅合金中最常用的材料為含鋁4%(ASTM規範: 3.5%~4.3%)左右之3號鋅合金, 此為二元(binary)合金。鋁含量低於3.5%則流動性不佳、強度低、尺寸安定性較差(圖5.6); 高於4.3%則衝擊強度變差(圖5.7)。其它5號、7號料較少用。5號料為三元(ternary)合金, 含4%之鋁和1%之銅, 較3號多1%之銅, 強度、硬度增加; 延性、衝擊性減低。

鋅-鋁合金之共析成份為鋁含量5%, 其熔點為382℃。共析成份有最佳之流動性。共析鋅-鋁合金(不添加鎂)主要用於澆鑄(slush casting)鑄造。

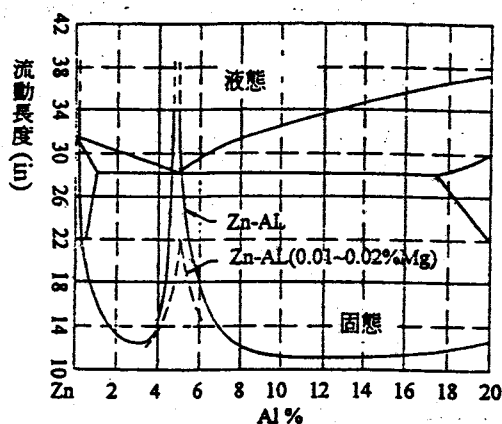


圖5.6 鋅-鋁合金鋁含量對流動性的影響

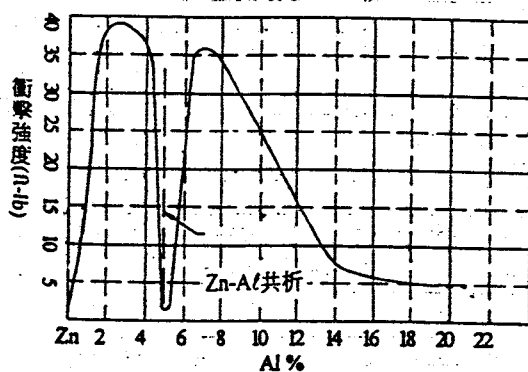


圖5.7 鋅-鋁合金鋁含量對衝擊強度的影響

### 5.3.1 其它成份對鋅合金的影響 (1)

#### 1. 鐵(Fe):

鋅極易與鐵化合, 然而在一般壓鑄溫度狀況下, 若成份中有0.25%以上之鋁含量, 則此種傾向減低。溫度越高(454℃以上)則親鐵性越高。因壓鑄製程中鋅

液會處於高溫下, 常會造成溶鐵量過高超規範圍的0.1%上限。湯杓、保溫爐、鑄頸管都可能是鐵雜質的來源。Fe與Al形成 $FeAl_3$ 及其它鋁化合物, 因較鋅液密度小最終浮出液面為浮渣而被去除; 同時降低了鋅合金中鋁的含量。鋁含量的降低造成流動性降低、流紋增多。鐵若超過0.1%後加工易龜裂。注意壓鑄過程溫度不超過454℃, 鐵含量通常可維持在0.1%以下。

#### 2. 銅(Cu):

銅含量低於1.25%都還不至於危害鋅壓鑄件品質, 超過時會產生時效脹大(aging growth)。銅含量越高, 硬度、強度皆增加。

#### 3. 鎂(Mg):

鎂存在的主要目的在抑制晶界腐蝕, 若超過規範容許量會降低流動率、增加熱裂可能性、增加硬度、降低延性。

#### 4. 鎳(Ni):

鎳在鋅合金中之最大固溶量為0.02%, 超過此上限會形成複雜鎳鋁化合物導致表面起泡和機械加工問題。然微量的鎳亦有抑止晶界腐蝕的作用。鎳污染的主要來源有電鍍過的鑄件回收重熔而除渣(fluxing)沒做好。一般良好之作業程序鎳含量不會超過0.02%, 通常電鍍件回收最好另爐溶解, 除去浮渣再使用。

#### 5. 鉛(Pb):

若鎂含量達0.02%鉛容許量可達0.005%仍不會產生嚴重危害, 超過此量會生晶界腐蝕效應造成熱裂。

#### 6. 鎘(Cd):

鎘含量0.1%會嚴重危害鑄件機械性質, 造成浮渣過多, 熱裂、鑄造性不佳。不過還好, 高品級純鋅錠含鎘量都很低。ASTM規範之3號、5號鋅合金錠最大

錫含量為0.004%，在壓鑄上都不成問題。

### 7. 錫(Sn):

錫非鋅礦及添加鋁中之天然雜質，來源主要是回收料中含錫箔、錫鍍件等。錫會造成熱裂、晶界腐蝕、時效變形(aging growth)，故規範定上限為0.002%。

### 8. 鉻(Cr):

鉻含量超過最大固溶量0.02%即會形成複雜化合物即會浮出鋅合金液面。鍍鉻廢料的回收為最大的雜質來源。

### 5.3.2 鋅合金壓鑄材料規範 (1)

鋅合金在所有壓鑄材中耐衝擊性僅次於銅合金。2號、5號料含銅有較佳之耐磨性，但犧牲掉鑄品尺寸及材質穩定性。5號料有較佳之抗潛變特性，但延性較低。壓鑄時，因快速冷卻，銅來不及全部析出，鑄件取出時若空冷，3號料日後會有0.9/1000 cm/cm 的變形量

，5號料則會有為0.7/1000。若取出時淬水，則日後會有1.1/1000的析出變形。退火熱處理可避免日後的變形，方式如表5.9。

表5.9 鋅合金尺寸穩定熱處理 (1)

時間(hr.)	溫度(°C)
3	100
5	85
10	70

7號料為3號料的改良材料。7號料對鉛(Pb)、錫(Sn)、鎘(Cd)等雜質限制較嚴。用鎳替代部份鎂含量來防止表面晶界腐蝕。鎂的降低使流動性增加。鎂、銅、鎳都雖可抑制晶界腐蝕。然鎂太多(>0.05%)會產生高溫強度不足，鑄件在模具中就龜裂。銅含量>1.25%會使鑄件延性嚴重降低。鎳含量>0.01%會有加工上的問題。

表 5.10 鋅合金各國編號近似對照表 (6)

商業習用編號	JIS H5301	FS QQ-Z-363B	ASTM B86	SAE J468b	NF A55-010	BS 1004	DIN 1743	ISO 301	UNS
No.3	ZDC2	AC40A	AG40A	903	Z-A4G	A	GD-ZnAl4	ZnAl4	Z33521
No.5	ZDC1	AC41A	AG41A	925	Z-A4U1G	B	GD-ZnAl4Cu1	ZnAl4Cu1	Z35530

表5.11 JIS壓鑄鋅合金成份標準 (7)

種 類	編號	化 學 成 份								備 註	
		Al	Cu	Mg	Pb	Fe	Cd	Sn	Zn	合金特性	應用例
鋅合金錠1種		3.9~4.3	0.75~1.25	0.03~0.06	0.003	0.075	0.002	0.001	餘	機械性質耐腐蝕性佳	剎車缸體、汽車安全帶機構
鋅合金壓鑄件1種	ZDC1	3.5~4.3	0.75~1.25	0.02~0.06	0.005	0.1	0.004	0.003	餘		
鋅合金錠1種		3.9~4.3	0.03	0.03~0.06	0.003	0.075	0.002	0.001	餘	鑄造性、電鍍性佳	水箱飾罩、化油器
鋅合金壓鑄件1種	ZDC2	3.5~4.3	0.25	0.02~0.06	0.005	0.1	0.004	0.003	餘		

表5.12 各元素對鋅合金性質的影響 (1)

有 益	無益且無害	有 害
鋁 Aluminum(Al)	鉻 Chromium(Cr)	銻 Antimony(Sb)
鋇 Barium(Ba)	錳 Manganese(Mn)	砷 Arsenic(As)
鈷 Cobalt(Co)	鉬 Molybdenum(Mo)	鈹 Beryllium(Be)
銅 Copper(Cu)	鉀 Potassium(K)	鎘 Cadmium(Cd)
鎂 Magnesium(Mg)	銀 Silver(Ag)	鈣 Calcium(Ca)
鎳 Nickel(Ni)		鉛 Lead(Pb)
銣 Strontium(Sr)		鋰 Lithium(Li)
		矽 Silicon(Si)
		鈉 Sodium(Na)
		錫 Tin(Sn)
		鈦 Titanium(Ti)
		鈦 Vanadium(V)
		鋯 Zirconium(Zr)