

# 感應電爐熔鑄能力本位訓練教材 認識非鐵金屬材料

編號：PMF-IFM0203

編著者：張永遠

審稿者：張晉昌

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

## 單元 PMF-IFM0203 學習指引

在你學習本單元之前，你應該先了解鑄鐵材料的種類名稱，且對各種規格有了基本認識；而學習本職類各單元教材的先後順序，可參考下一頁之能力目錄。假如你認為自己可以的話，請翻到第 1 頁開始學習。假如你認為自己還不熟悉，請將本教材放回原位，並取出編號 PMF-IFM0201 教材開始或請教你的老師。

## 引言

在感應電爐熔鑄工作，除了應認識感應電爐之熔鑄原理及冷卻系統等機械設備之運用及保養工作外，尚需認識金屬材料之種類特性及用途，當然金屬材料本身所涵蓋範圍相當廣泛，本單元僅就非鐵金屬材料之運用為主，並延伸到非鐵金屬材料經感應電爐熔鑄完成的非鐵金屬件，使用於相關工業上，如機械、汽車、化工、模具業等。本單元將使你學習如何認識非鐵金屬材料，進而運用這些材料透過感應電爐熔鑄出非鐵金屬熔液的工作。

## 定義

**感應電爐**：是用交流電變為直流電，再變頻率，然後再變成交流感應的方法，在爐料中產生渦電流，利用渦電流產生的熱量加熱來熔化材料。假如你要詳細瞭解請參照 PMF-IFM0101 訓練教材。

**非鐵金屬**：（Non-ferrous metal）在工業產品中之消耗量，若以重量來計算，大約佔 20%，純粹之非鐵金屬，雖具有一些優良之特質，但因缺乏結構強度，故其在工業製品中僅佔五分之一的地位。也因此非鐵金屬常加以一種或多種之元素，使其成為具有特質的合金。非鐵金屬合金的特性為抗腐蝕，導電性佳，機械加工容易，並具有美觀的外表。

## 學習目標

- 一、在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出非鐵金屬材料中的銅及銅合金規格名稱成分特性及用途。
- 二、不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出非鐵金屬材料中的鋁及鋁合金材料常用的規格名稱成分特性及用途。
- 三、不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出非鐵金屬材料中的鎂及鎂合金材料常用的規格名稱成分特性及用途。

## 學習活動

本單元之學習活動包括相關之知識及實際操作，你對非鐵金屬材料的認識與學習上可以由下列之兩個途徑選擇一途徑去學習：

一、閱讀本教材之第 5 頁至第 52 頁

二、閱讀下列參考書籍：

(一)金屬材料手冊 機械技術出版社第五版 P.408~P.437

(二)中華民國鑄造學會，技術資料 NO：153，鋁鎂合金鑄造技術。

(三)徐氏基金會出版，六十二年版鑄工學，張錫綸編著，P.93~P.132。

本單元的第一個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確的說出非鐵金屬材料中常用的銅及銅合金的規格名稱成分特性及用途。

## 壹、鑄銅 (CASTING COPPER)

銅一般是以合金的方式存在運用於鑄銅，而純銅應用於電纜電線業居多。

銅：Cu 原子序：29 原子量 63.5 密度在 20°C 時 8.96g/cm<sup>3</sup> 融點：1083°C  
 沸點：2580°C 比熱：0.385 j/g°C 熔解熱：212 j/g  
 熱膨脹係數  $\alpha$  (0~100°C)：17×10<sup>-6</sup>/°C  
 導熱係數  $\lambda$ ：3.93 j/(cmes°C)

銅合金依化學成份可區分為青銅、黃銅、特殊青銅、白銅，高力黃銅、純銅件。因為銅合金在不銹鋼還未商業化生產前是最具有優越耐蝕性的材料，其本身又有良好的鑄造性，另外導電性、熱傳導性、切削性、耐磨性、潤滑性，及具有中國傳統的帝王色金黃色，所以從殷商時期即被廣泛的運用，另外在工業及工程上，大量使用於水管工程內的五金零件、水泵、衛浴五金及配件，軸承及襯套，齒輪，船用耐蝕鑄件（海軍黃銅），但是如果用於飲食用之管路較不適合，主要原因在於銅會與水產生化合物銅綠，具有毒性有害健康。

### 一、青銅合金材料之種類、規格及特性用途

青銅是以銅加錫 (Cu + Sn) 組合而成的合金，包括錫青銅、磷青銅、鉛青銅、鎳青銅等。當錫含量 3~4% 時，具有最大之伸長率，但錫含量增加時會急速降低，其硬度及抗拉強度將隨錫含量增加而提高，當錫含量在 17~18% 時其抗拉強度最大；但是錫含量在 20% 時脆性急增而且抗拉強度降低。青銅合金的延性及展性均較黃銅合金低，當含錫量少時，可常溫軋延，及高溫加工，其中以含錫量 6% 時加工性最佳。青銅合金加工性較差，但其鑄造性較佳，當在熔鑄時其流動性極佳，收縮率又小，所以青銅鑄件很普遍。表一所示為青銅之色澤變化說明。

表 1 青銅之色澤與錫含量多寡之變化

含錫量%	3.7	10	20	25	30	40
顏色	赤黃	灰黃	帶黃	帶蒼	蒼白	淡灰



## (一)錫青銅

亦稱砲銅 (Gun metal)，含銅比例為 87~88%，錫 Sn 為 8~11%。尚有鋅 Zn、鐵 Fe、鉛 Pb 等元素。此合金在古代用於鑄造砲身，其強度、延性、韌性，及對突然負荷之抵抗性甚佳，另外用來製造蒸汽閘門、蒸餾器、抽水機、齒輪等高壓及耐磨之機件故又名機械青銅。銅合金鑄件需要表面特別光潔，如水管接頭、機器活塞必須有拋光面，有的甚至要求為鏡面，如古代之銅鏡，皆要採用透氣性高的模砂製模澆鑄，則才易發生疵病。錫青銅本身組織呈現安定的氧化磨損狀態；乃因其氧化皮膜強固所致，但相對的造成磨材嚴重的損耗。表 2 所示為錫青銅之用途及化學組成。

表 2 錫青銅之用途及化學成份表

用 途	成 分			
	銅(%)	錫(%)	鋅(%)	鉛(%)
偏心圈(蒸汽機或別種機械上用者)	84	14	2	—
唧筒之筒身及汽門箱	88	10	2	—
機車上之警笛	80	18	2	—
填料函(Stuffing box)及球形閥	86.2	10.2	3.6	—
大螺旋桿之母螺(如車床螺旋桿、壓榨機螺旋桿等)	86.2	11.4	2.4	—
活塞圈	84	3	8.5	4.5
滑動閥	82	16	2	—
齒輪(甲)	82.7	10.5	1.8	—
齒輪(乙)	88.8	8.5	2.7	—
科學儀器微受變差溫度者	82	13	5	—
天平砝碼等	90	8	2	—
螺旋槳	83.1	14	2.9	—
槳葉及軸(如打紙將攪拌葉片)	76.8	17.4	3.8	—

## (二)軸承青銅

用於機械軸承及抗磨耗與韌性強的地方。

## (三)錢幣及獎牌青銅

此項銅合金之成份為銅 Cu95%，錫 Sn4%，鋅 1%，其硬度較高，且易於鑄造成型刻紋圖案鮮明。

#### (四)鐘銅

鐘銅是以發出優美洪亮聲音為主，其發音之洪亮與否，視形狀，尺寸，鑄造方法，溫度及材料成份均有密切的關係。澆鑄後冷卻緩慢者，具有硬而脆的特質；另外在 500°C 以上使鑄件速冷，則柔而韌並且有微黃色。鐘銅不宜含有其他雜質，溶液須淨潔，否則發音不良。

#### (五)鏡銅

古時常用以製鏡因而得名；現在則製造科學儀器。含銅三分之二，含錫三分之一，呈白色質硬。若再加微量之砷或鎳，可使其呈銀白色。

#### (六)特殊青銅

有鋁、磷、錳、鎳、矽、鈳等分別說明如下：

1. 鋁青銅：此為銅鋁合金，其中鋁含量為 5~12%。鋁在青銅中含量與硬度成正比，與展性及比重成反比，含鋁在 10% 的青銅，可為此類合金之代表，呈白黃色，比重小，韌性強，鑄件強度大約為 40kg/mm<sup>2</sup>，耐磨、耐蝕，在大氣中永不變色，所以適用於船舶推進器及高壓汽缸，但材料成本過高。另外鐵可增加其硬度及強度，在 5% 以下時對延性影響很小。

當銅 79%、鋁 11%、鐵 5%、鎳 5% 之合金，可用作需要硬度及抗磨性極高的飛機引擎之汽門座；加鈦，則其性質更佳，但鋁不得超過 11%，否則將產生脆性而不能應用。

2. 磷青銅：由於加磷於青銅中，可構成 Cu<sub>3</sub>P 之極硬化合物，並可除去其氧化物，增加熔液流動性，所以鑄造性佳，有抗化學溶液腐蝕之特性。另外含銅 91~97%，含錫 3~9%，含磷 0.2% 之青銅，質地堅硬且有極佳的彈性，可製造彈簧之用。

含銅 86~90%、錫 8~16%、磷 0.2~1.5% 之合金，此材料較普通青銅堅韌、耐磨、耐蝕，故可供製造高壓軸承，活塞環，齒輪及螺旋槳之用。表 3 所示為磷青銅之化學成份及其用途說明如下：

表 3 磷青銅之化學成份及用途表

號數	成 分 (%)							用 途 說 明
	銅	錫	鉛	磷	鐵	鋅	其他	
1	86-89	9-11	1-1.25	0.25 (最高)	—	—	0.5	軸承襯套，通用於 重大負荷
2	78.5-81.5	9-11	9-11	0.05-0.25	—	0.75	0.25	抗磨合金軸承襯 面
3	80-90	10-12	—	0.1-0.3	—	—	0.5	硬度較高齒輪及 螺旋齒輪
4	75.5-78.5	7.25-8.75	13.5-16.5	1.25 (最高)	0.25	0.5	1.25	屬於軟青銅，抗磨 性材料均適用
5	91.5-89.3	8-10	—	0.5-0.7	—	—	—	閥門、小齒輪、螺 旋推進器，鍋爐阻 漏
6	89.3-87.0	10-12	—	0.7-1	—	—	—	螺旋齒輪、閥門、 電機高速齒輪
7	89-86.5	10-12	—	1-1.5	—	—	—	硬度高製成滑動 閥，軸承襯面，抗 磨機件
8	90	9.5	—	0.5	—	—	—	耐酸抗腐蝕，化學 機械用

3. 錳青銅：若由其成份上而言，應為錳黃銅；但其性質與青銅無異，所以歸類為錳青銅。含銅量 55~60%，鋅 37~40%，錫 1.5% 以下，鐵 2% 以下，鋁 0.5% 以下，錳 0.5% 以下之複雜合金，性強韌、耐海水浸蝕，強度 49~68kg/mm<sup>2</sup>，延伸率 20~40% 供製造船舶機械、汽旋輪機之輪葉。

含銅 64%、鋅 29%、錫 0.2%、鋁 3.1%、鈦 1.2%、錳 2.5% 之合金具有耐強酸性，用來製造化學機械。

4. 鎳青銅：銅與鎳可相互固溶，成爲極優良之合金，且有高韌性、耐蝕性、延展性，用途廣泛。因含鎳量不同而有下列不同之用途。含鎳 2~5% 呈赤色，用於砲彈彈夾。含鎳 15% 易於加工，製成管及厚板，槍彈之外殼，冷凝器及給水預熱器管子等。含鎳 15~20%，爲非鐵合金中最易軋延之材料，強度及耐磨蝕性均佳，供製凝汽器之管。含鎳 40% 者爲康史登銅（Constantan），強度大、電阻大、耐蝕性佳，且電阻溫度係數幾近於零，故可製電阻絲及熱電阻線。含鎳 50% 者，耐蝕性最好；若加錫 5%，對於 50% 之硫酸及鹽酸，雖煮數日亦不被溶解。
5. 矽青銅：純銅內加入少量之矽爲脫氧劑，其含矽量 0.1% 以下，強度極高，其傳電率較磷青銅高，故電話、電報、電車等之電線均採用。
6. 鈮青銅：於銅鋅合金中加入鈮，不但可做脫氧劑，且能使組織細密均一，又可增加其強度及延性。另外在六四黃銅加微量的鈮，可使其強度增加 25%，延伸率增加 60%，可製造船舶機械用材料。

## 二、黃銅 (Brass)

黃銅為銅 Cu、鋅 Zn 之合金，是僅次於鐵、鋼之重要金屬材料。在銅中加鋅可增加其強度與延性；當含量在 30% 時，其延性是最高，俗稱七三黃銅。含鋅在 40% 者其強度最高，通稱六四黃銅。但若超過 45% 則大為降低，甚至在 53% 時其強度幾近於零。實際運用之黃銅除鋅外尚含有微量的錫 Sn 與鉛 Pb，又有含錳 Mn、鐵 Fe、鋁 Al 者。

在工程應用上的黃銅，又可分為鑄造黃銅與鍛造黃銅。

### (一)鑄造黃銅

分為金色黃銅及黃色黃銅。金色黃銅含鋅量為 8~20%，其色與黃金相近，尤其加入少量的鉛者最明顯，可做模擬黃金之裝飾品。另外含鋅量為 20% 左右其延性最大，而適為金箔、粉、線等之代用品。而普通黃銅是含鋅量大於 30%，也有加錫與鉛少量來使用。表 4 所示為黃銅之化學成份及其機械性質之說明：

表 4 黃銅之化學成份及其機械性質對照表

種類	Cu%	Zn%	Pb%	Sn%	強度 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率% L=50mm
1	87±2.0	13±2.0	—	—	<17	<20
2	64±2.0	34±1.5	<2.5	—	<20	<20
3	60±2.0	40±2.0	—	—	<26	<20
4	62±3.0	37±1.5	—	1±0.5	<26	<20

第 1 項為金色黃銅，第 2 項為七三黃銅，第 3 項為六四黃銅，第 4 項為強度最大且耐海水腐蝕之海用黃銅也稱為海軍黃銅。其用途除作裝飾品外，並可製樂器零件、閥門、各種電機用具。

### (二)鍛造黃銅

因成份不同又分為下列兩種。

- 1.七三黃銅：含銅量 69~72%，鋅含量 28~31%，延性較高，易於常溫加工，抗拉強度為 32~36kg/mm<sup>2</sup>，硬度為 HB60°，延伸率為 65~75%，可製造砲彈彈殼用。
- 2.六四黃銅：含銅量 58~62%，而鋅含量為 38~42%，適用於高溫加工之銅鑄件。

因施工方法不同又可分為熱作與冷作黃銅二種。

- 1.熱作黃銅：又稱為低級黃銅，其含銅量為 55~63%，材質較軟，適合熱軋。其先鑄成塊狀，加溫至紅熱時，施以軋壓，僅需加熱一次，即可軋壓完成。黃銅之熱軋溫度，須特別注意。因鑄造黃銅之結晶組織較粗鬆，經熱軋後，將使其組織變為細密，溫度需控制在 600°C 以上，而 600°C 是黃銅熱軋與冷軋之溫度分界點。另外有改良型之熱作黃銅，即將原來之黃銅中加入錫、鐵等，以改良其品質。較著名的有陶丙銅（Tobin）及得爾它銅（Delta）兩種；陶丙銅含銅 58~60%，鋅 40%，錫與鐵各佔 1%。可用來做直角桁、無縫管。耐腐蝕，故用於船舶機械零件。得爾它銅與前者相似，僅含鐵量較多約 1~3%，其強度及硬度較高，用途較廣。
- 2.冷作黃銅：又稱為高級黃銅，其含銅量為 60% 以上，其用途可製銅管、彈殼、銅線等；其中七三黃銅具有最高之延展性。以鑄造成型之銅塊，緩緩重覆加熱，使之軟化，再施以軋壓成型。假設加熱次數減少，則當時之成品雖無異狀，使用一段時間後，將發生變形，或裂紋等現象。不可不予注意。含銅 72%、鋅 28%，或銅 66%、鋅 33% 之彈殼黃銅。經軋壓後，其延性減弱，而其脆性及硬度會增高。所以需施以退火處理，以便其恢復原狀後，再用酸性溶液洗去表面氧化層，退火溫度宜控制在 320°C~350°C 之間。

### (三)特殊黃銅

分為：鐵黃銅、鋁黃銅、鑄紅黃銅分述如下：

- 1.鐵黃銅：鐵加入銅中，可使其顆粒細緻，增加其硬度及強度，而不損其延展性。六四黃銅含鐵 1~1.2%，得爾它合金含鐵 1~1.5%、錳 1%，均將增加材料韌性及耐蝕性。其強度（鑄件）32~28kg/mm<sup>2</sup>、（鍛件）42~46kg/mm<sup>2</sup>，多用於船舶、礦山機械、水力機及化學機械之機件。
- 2.鋁黃銅：加鋁作脫氧劑，使熔融液易於流動而減少氣泡產生。含鋁在 4% 以下者，易鑄造；在高溫中鍛軋，可作抽水機及推進器之材料。因其性質與錳青銅相似，故可代替錳青銅在工業上之用途。

3.鑄紅黃銅：凡銅合金中含銅量較高而均呈紅色者，皆可稱之為紅黃銅。惟含銅 55%、鋅 45%之黃銅、錳青銅、鋁黃銅及鋁青銅等，其色雖呈紅，但不屬於此類合金。紅黃銅中之含銅量，通常在 75%以上，而鋅、鉛、錫之含量則多寡不定。因其易於加工，且呈紅色，故常作抗磨合金及管子零件。表 5 所示為鑄紅黃銅之成份，性質及用途。

表 5 鑄紅黃銅之成份、性質及用途

號數	成份 (%)				性質及用途
	銅	錫	鋅	鉛	
1	88	6.5	4	1.5	施工容易，抗拉強度最大，可製高級蒸汽管件。
2	85	5	5	5	鑄造容易，施工較第 1 種更容易，為高級紅黃銅，普通機件多採用之。
3	83	4	7	6	性質與第 2 種相同，為中級紅黃銅。
4	77	3	10	10	製造受低壓之閥及管子零件。
5	76	2	16	6	製造氣管、煤氣管水管等零件。

## 貳、銅的性質、用途及熔劑

### 一、銅的性質及用途

銅 (Copper) 在世界之產量，以美國最多，佔世界的 1/4 產量；臺灣也有生產在北部的金瓜石，附近有禮樂煉銅廠，目前已停產，黃銅礦 (Chalcopyrite) 為主要煉銅之礦砂，其分子式為  $\text{Cu}_2\text{S}$  及  $\text{CuFeS}_2$ ，蘊藏於地下深處。銅礦主要以硫化物如黃銅礦及氧化物如赤銅礦，天然純銅礦較少。所以在冶煉時，須經數次提煉及電解，始能獲得純銅。

銅在乾燥空氣中不易氧化，僅表面產生黑色氧化銅，若在空氣中加熱到 100℃ 以上，即產生氧化。若在濕空氣中逐漸與水蒸氣、二氧化碳及氧作用，而生綠色之鹽基碳酸銅 ( $\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$ )，就是俗稱**銅綠**，生於表面，故可防止內部的氧化。如遇海水則易氧化，易被氨腐蝕。銅本身不溶於鹽酸及稀硫酸，但會溶於硝酸及濃硫酸。銅之彈性差，因富延展性，加工性良好。有金屬光澤，純銅為紫紅色，導熱及導電性均佳僅次於銀。

銅之用途是僅次於鐵的第二重要金屬，且為人類最早發現運用之金屬，在史前時代，銅器時代早於鐵器時代，古代即用來製造器皿及用具、銅像、銅鐘。因其能抵抗化學品之侵蝕；故常用於冷凝器、鍋爐內管、蒸發器、增壓鍋及幫浦、各式內管，等之材料。目前因價格較鋁昂貴，故電器工業上如電線電纜及其它器材料，均被鋁取而代之。

## 二、銅的熔劑特性

純銅之潔淨—想要煉製高導電率的純銅，必須採用除氧技術及熔劑（FLUX）處理作業雙管齊下，除去銅中之含氧量。一般市場上可取得磷酸銅作為熔劑，處理後效果顯著。其它還有鋰 Li、磷 P、硼化鈣等均有除氧效能。而這些熔劑必須具備有下列特性及防止效應：

- (一)應有適當的熔化點及黏結力，在覆蓋熔融金屬表面能銅的渣接觸起化學反應，迅速的成爲渣滓以便清除。
- (二)雜質或銅合金中含有毒氣及煙氣，應有防範措施。並備未煮的礦泉水飲用，對銅之毒氣有清除作用。
- (三)銅液表面渣皮，應隨時收集，才能保持潔淨銅質。
- (四)熔劑不可與粉壁或坩堝接觸而起腐蝕作用。

圖 1 所示爲工業用大型銅合金壓鑄機生產主要產品高力黃銅軸承、平面滑板、小門用軸襯、印刷、造紙、造船機械、水力發電機械零件。

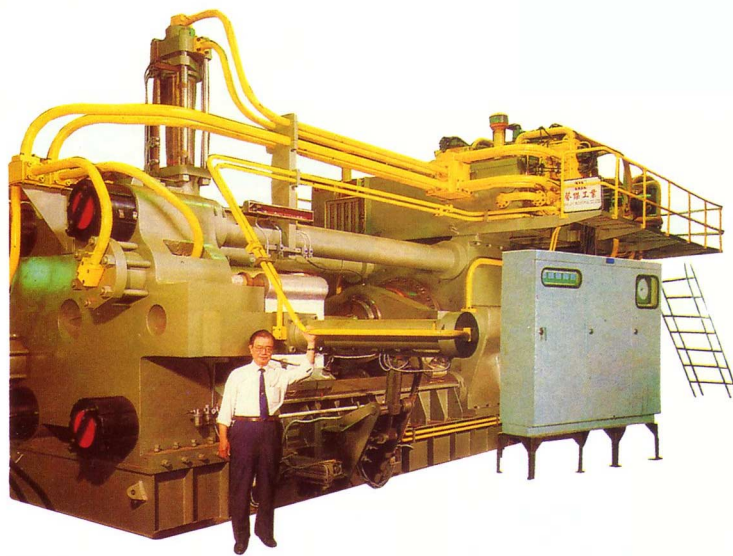


圖 1 大型銅合金壓鑄機

- (五)感應電爐爲大氣氣氛熔解，當熔解黃銅時溫度在  $1050^{\circ}\text{C} \sim 1060^{\circ}\text{C}$  以上時，熔液表面皆會發生鋅的沸騰現象，此時鋅的消耗顯著增加，並有阻止熔液吸收氣體作用。但所發生的氧化鋅（ $\text{ZnO}$ ）白煙會造成空氣污染，須啓動集塵設備，改善環境品質，而溶解時宜採低週感應電爐較適宜。



## 學習評量一

請不要使用參考書籍或翻閱前面的資料，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

一、是非題：共 10 題每答對 1 題得 5 分。

- ( ) 1.銅的比重在常溫 20°C 時為 8.96 克/cm<sup>3</sup>，具有金黃色的金屬光澤。
- ( ) 2.銅的融點為 1083°C，故也適用於金屬模壓鑄之材料。
- ( ) 3.銅會與水產生化合物鹽基碳酸銅顏色綠色故稱為銅綠，無毒性所以可用於飲食用管路。
- ( ) 4.用於機械軸承及抗磨耗與韌性強的地方應選用軸承青銅。
- ( ) 5.鋁青銅具鑄造性佳，並有抗化學溶液腐蝕之特性。
- ( ) 6.青銅是銅、鋅之合金，是僅次於鐵之重要金屬材料。
- ( ) 7.六四黃銅因施工方法不同可分為熱作黃銅與冷作黃銅二種。
- ( ) 8.冷作黃銅又稱為低級黃銅可用於銅管、彈殼、銅線等。
- ( ) 9.銅在世界產量以中國大陸最多，佔世界產量的 1/4。
- ( ) 10.黃銅礦是主要煉銅之礦砂，須經多次的提煉及電解，才能得到純銅。

(二)選擇題：共 5 題每答對一題 10 分。

- ( ) 1.六四黃銅其強度高 26kg/mm<sup>2</sup> 用途廣亦稱 ①鐵黃銅 ②鋁黃銅 ③海軍黃銅 ④純銅
- ( ) 2.古代用鑄造砲身因而得名的砲銅是屬於 ①磷青銅 ②錳青銅 ③矽青銅 ④錫青銅
- ( ) 3.青銅合金當錫含量在 ①5%~10% ②17%~18% ③20%~25% ④25%以上時
- ( ) 4.當含鎳 40%具有強度，電阻大且耐蝕性佳電阻溫度係數幾近於零的鎳青銅亦稱為 ①康史登銅 ②特殊青銅 ③七三黃銅 ④高力黃銅
- ( ) 5.臺灣也有生產銅礦位於北部的 ①三峽 ②金瓜石 ③淡水 ④頭城

學習評量—解答

一、是非題

1. (○)
2. (○)
3. (×) 有毒性
4. (○)
5. (×) 磷青銅
6. (×) 黃銅
7. (○)
8. (×) 高級黃銅
9. (×) 美國
10. (○)

二、選擇題

1. (3)
2. (4)
3. (2)
4. (1)
5. (2)

你已經瞭解非鐵金屬材料中的銅及銅合金等之規格種類及特性用途，並熟悉相互間之關係，接著你將近入第二個學習目標。

本單元的第二個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出鋁及鋁合金的規格種類及特性用途。

## 壹、鑄鋁(Casting Aluminum)

鋁的成份在 99.95%時其比重為 2.7，熔點為 658.7°C，若以合金型態存在則熔點較低，鑄造較方便且用途廣泛，凡家庭器皿乃至機械武器、航空零件、汽機車零件。而在工業製造上的線、板、管必須採用純鋁。

鋁是世界分佈最普遍的金屬，目前是僅次於鐵、銅之第三重要金屬。因為在地表的岩石、土壤中皆含有鋁元素，但目前提煉用之礦石，僅有水礬土礦(Bauxite)明礬石和鋁頁岩。以水礬土礦為最重要、最普遍之煉鋁礦石。其中以熱帶地區礦產儲量最豐富中南洲的牙買加、亞洲的印尼、澳洲北部、非洲幾內瓦、迦納等。

鋁礦雖廣佈於地殼上，僅小礬土礦具開採價值，其開採方式，通常以敞坑法(Open-pit method)進行，然後予以軋碎，有時將附著之黏土洗去，再乾燥後，才精煉成氧化鋁，亦稱為礬土。我們在市場能買到的鋁線、鋁棒是利用這些氧化鋁由電解法(Electrolytic process)製成。此電解法中，純氧化鋁係溶解於熔融之冰晶石池內，此池係在甚大之電解爐內，通常為電解室或電解罐爐(Pots)由碳陽極懸於池內，電流即通過池內混合物，使金屬鋁沉積於室底之陰極碳上，由於電流通過所產生之熱量，使池內保持熔融之狀態，因此氧化鋁可視需要而加入，可使熔煉過程不致中斷。每隔一適當時間，金屬鋁以虹吸法自池中吸出，再將熔融之鋁金屬送至保溫爐，作為合金或去除雜質，再鑄成鋁錠，作進一步之運用。

### 一、鋁的特性及用途

金屬鋁之色澤為銀白而有閃光，其價格雖較鐵或鋼貴，但其質輕約為鋼鐵的 1/3，所以運輸費用較少，鋁之切削性佳且快，通常不需表面加工即可防銹，無需特別維護保養，而表面有天然美觀的光澤，綜合上述條件考量，鋁是屬於經濟型之材料。鋁之導熱性與導電性良好，熱之反射性能亦佳，尤其是表面經高度打磨拋光更好。純鋁也有好的延展性可拉成極精細之鋁線，能旋形或衝壓成甚深之物件，也能鎚或軋成極薄之鋁箔，可薄到 0.0064 公厘之厚度。

純鋁極軟可作甚多用途，近年來發展之許多鋁合金，使鋁製品更為理想應用更廣。普通用途為工業電纜及電線、飛機、航太工業零件、火箭、飛彈的油箱外殼與結構，火車、汽機車的引擎活塞、腳踏車的車架、鋁門窗、輕工業機器零件、鋁箱及伸縮管等，這些加入適當合金元素，再加以熱處理可提高硬度強度。

## 二、鋁合金之成份及其用途

(一)鋁銅合金：在工業上鋁銅合金，其銅含量分 4%、8%、12%三種

含銅 4%的鋁銅合金，可用於砂模或金屬模鑄造。使用於航空發動機之曲柄軸箱、空氣調節器。

含銅 8%的鋁銅合金其用途為曲柄軸箱、油池、及傳動軸、排氣管。

含銅 12%之合金，其延性較差，用於幫浦鑄件，氧化器。

表 6 所示為鋁銅合金之成份物理性質之說明。

表 6 鋁銅金之成分及物理性質

銅含量	比重 20°C	熱傳導率	熔點 °C	抗拉強度 kg/mm <sup>2</sup>	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率%	膨脹係數
4%	2.77	0.34	650	21-35	15-19	0-4	0.000023
8%	2.85-2.90	0.33	625	18-20	8-13	2-5	0.0000246
12%	2.93	0.36	640	18-21	16-20	1-2	0.000022

(二)鋁鋅合金：此合金的特性視鋅含量增加強度提高，但當鋅含量達 15%時，其合金之伸長率已很小而且脆硬。合金含量在 10~14%以內，具有高度熱脆性和冷縮性，加入少量的銅可改善熱脆性。此合金廣泛用於壓鑄品、如腳踏車踏踏板，家庭五金，汽機車零件，滑板車零件。

(三)鋁矽合金：此合金僅是鋁與矽之混合，通常矽之成份在 10%左右，用於溫度與負荷變化大之機件中。其比重 2.60~2.65，熱膨脹係數為 0.000022(20°C~200°C)抗拉強度 17~22kg/mm<sup>2</sup>。因其本身有游離矽，故切削性不佳。其用途為汽車冷卻水套、建築及裝飾用品等。

鋁矽合金中，如加入合宜之金屬元素後，即為改良合金(Modified Alloy)例如矽含量在 2~15%時加入鈉可增加抗拉強度具有明顯效果。當含矽量 15~20%時對合金之拉力能有很大改進，但伸長率不變。當矽含量 13%之合金中，應加鈉 0.07%，含有矽 10%的合金中，應加鈉 0.05%；惟加鈉保溫時會損失一部份，視時間長短溫度高低而定。當含鎂量在 0.15~3%時而矽含量在 2~12%，加鈉後所得效果最好；含矽量 4.5~20%加銅 1~2%時，加鈉效果只對抗拉強度和伸長率稍加改進。

(四)鋁錳合金：含錳 2%以下可增加強度，使其耐蝕性增高，且易於加工及熔接。可用於耐腐蝕的場合，其抗拉強度最高可達  $25\text{kg/mm}^2$ ，可用在化學用品及油具。

(五)鋁銅鋅合金：含鋅量 12.5~14.5%，銅 2.5~3.0%，其餘含量為鋁。以金屬模鑄造其強度為  $22 \sim 25\text{kg/mm}^2$ ，彈性限度為  $2.4 \sim 2.7\text{kg/mm}^2$ ，比重為 2.98~3.1，膨脹係數為 0.0000255、熔點  $610^\circ\text{C}$ 。其用途為汽機車零件。如再施適當之熱處理可增加其強度和硬度。

(六)杜拉鋁合金(Duralumin)：含銅 3.5~5.5%，錳 0.5~0.8%，鎂 0.5%，餘為鋁。比重為 2.75~2.84，膨脹係數 0.000026，熔點  $650^\circ\text{C}$ ，抗拉強度  $42.2\text{kg/mm}^2$  於淬火後放置常溫四天。其主要用途為飛機、航太機械之材料。

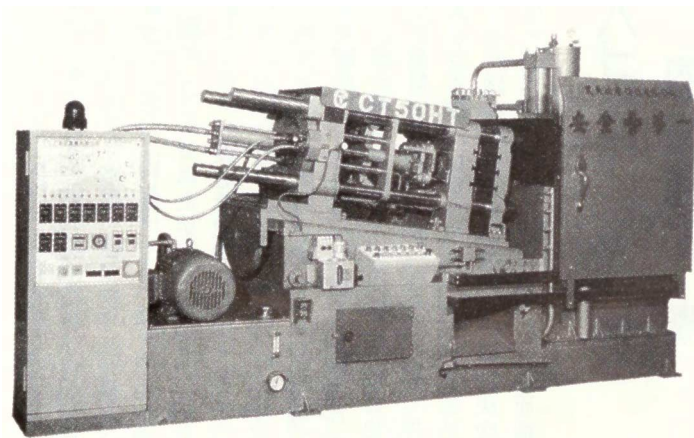
圖 2 所示為鋁合金熱室全自動壓鑄機及功能說明。

圖 3 所示為鋁合金直立式高壓熔湯壓鑄機及功能用途說明。

表 7 所示為鋁合金之化學組成及用途分類。

### 熱室全自動壓鑄機

HOT CHAMBER FULLY  
AUTOMATIC DIE CASTING MACHINE



- 高、低、減壓三段鎖模裝置,模具有異狀時即自行退開並警笛示警,可保護模具之安全。
- 二段式射料裝置，當開始射料時，以慢速推出模內之空氣，再高壓快速射出可減少鑄品氣泡之發生。
- 自動中子裝置，四種不同使用方式。
- 自動油壓脫模，並有頂針回模裝置，脫模劑自動噴灑裝置。
- 壓鑄速度快，噪音低，有手動，半自動，全自動三種操作試。
- 溶湯溫度，全自動控制。
- 輕油燃燒，瓦斯燃燒機及電氣爐，三者任選一種。
- 一個人可同時操作多部機械作業，節省人力。

圖 2 鋁合金熱室全自動壓鑄機

### 直立式高壓熔湯壓鑄機

#### HIGH PRESSURE DIE CASTING MACHINE

■鋁合金製品，溶湯注入模型孔，以高壓三次增壓成型。高密度強度、韌性、拉力高，本產品經 X 光檢驗合格。

■用途：腳踏車、機車、汽車、飛機、高級零件。

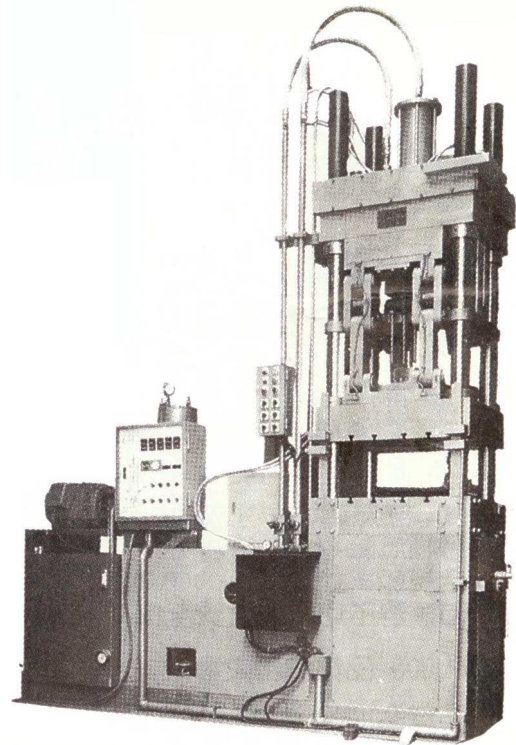


圖 3 鋁合金直立式高壓熔湯壓鑄機

表 7 鋁合金之化學組成及用途分類

JIS 合金名	代表組成	用途
AC1A	A1-4.5%Cu	飛機汽車用零件
AC2A	A1-4%Cu-4.5%SI	汽車引擎，滑板車零件
AC2B	A1-3%Cu-6.5%SI	產業機械零件
AC3A	A1-12%Si	壓鑄零件，建築五金，裝飾五金
AC4A	A1-9%Si-0.5Mg-0.5%Mn	
AC4B	A1-5%Si-3%Cu	汽車引擎，冷卻水套，輕武器零件
AC4C	A1-7%Si-0.3%Mg	飛彈油箱，航太零件，鋁合金輪圈
AC4D	A1-5%Si-1%Cu-0.5%Cu	
AC5A	A1-4%Cu-1.5%Mg-2%Ni	空氣調結器外殼，軍用船舶零件
AC7A	A1-5%Mg	飛機，航空機械之架構材料
AC7B	A1-10%Mg	
AC8A	A1-12%Si-1%Cu-1%Mg-2%Ni	耐疲勞之油槽油管
AC8B	A1-9.5%Si-3%Cu-3%Mg-1%Ni	
AC8C	A1-9.5%-3%Cu-1%Mg	高強力材料

(七)鋁矽鎂合金在 JIS 規範內以 AC4A、AC4C、AC4CH 為代表如對應到 AA 規格鋁合金的化學成份如表八所示為鋁矽鎂合金規格成份表，表九所示為鋁矽鎂合金之物理性質表。表 10 所示為鋁矽鎂合金應用於砂模及金屬模之鑄件的機械性質表。

表 8 鋁矽鎂 Al-Si-Mg 合金規格成份表 (單位 %)

合金種類	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Ma	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Al
JISAC4A	0.25	8-10	0.3-0.6	0.25	0.55	0.3-0.6	0.10	0.20	0.10	0.05	0.15	餘量
AA359	0.20	8.5-9.5	0.3-0.7	0.10	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.05	0.15	餘量
JISAC4C	0.25	6.5-7.5	0.25-0.45	0.35	0.55	0.35	0.10	0.20	0.10	0.05	0.10	餘量
AA356	0.25	6.5-7.5	0.25-0.45	0.35	0.60	0.35	0.10	0.25	0.10	0.05	0.10	餘量
JIS-AC4CH	0.20	6.5-7.5	0.20-0.40	0.10	0.20	0.10	0.05	0.20	0.05	0.05	0.15	餘量
AAA356	0.20	6.5-7.5	0.25-0.45	0.10	0.20	0.10	0.05	0.20	0.05	0.05	0.05	

表 9 鋁矽鎂 Al-Si-Mg 物理性質

	AC4A 359.0	AC4C 356.0	AC4CH A356.0
比重( $10^3\text{kg/m}^3$ )	2.63	2.68	2.68
彈性率(GPa)	71	72	72
剛性率(GPa)	21	27	27
溶融溫度範圍(K)	868-828	883-827	883-827
比熱(273-373K)(J/kg · K)	880	880	880
線膨脹率(293-373K)( $10^{-6}/\text{K}$ )	21	21.4	21.4
熱傳導率(298K)(W/m · K)	121	151	151
比電阻(293K)( $\mu\Omega \cdot \text{m}$ )	—	421	421
等容量導電率(%IACS)	30	39	40



表 10 鋁矽鎂合金應用於砂模金屬模鑄件的機械性質

合金	鑄模	熱處理	抗拉強度			抗壓強度 (MPa)	硬度 (HB) (10/500/30)	剪斷強度 (MPa)	疲勞限度 (MPa)	彈性係數 (GPa)
			抗拉強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	伸長率 (%)					
AC4C (356.0)	砂	F	165	124	6.0	—	—	—	—	—
		T51	172	138	2.0	145	60	138	55	72
		T6	228	165	3.5	172	70	179	76	72
		T6	234	207	2.0	214	75	165	62	72
		T71	193	145	3.5	152	60	138	76	72
	金	F	179	124	5.0	—	—	—	—	—
		T51	186	138	2.0	—	—	—	—	—
		T6	276	186	5.0	186	90	221	90	72
AC4CH (A356.0)	砂	F	159	90	7.0	—	—	—	—	—
		T51	179	124	3.0	—	—	—	—	—
		T6	262	193	6.0	—	70	—	—	—
	金	T6	283	207	12.0	—	80	—	—	—
		T61	283	207	12.0	—	80	—	—	—
AC4A (359.0)	砂	T62	343	289	5.5	—	90	—	108	—
		T61	328	255	6.0	—	100	—	—	—

如圖 4 所示為鋁合金重力鑄造之各型零組件，圖 5 所示為 150 噸級鑄機。  
用途：生產產品，汽機車零件機械、油壓零件、油壓泵、打釘機、航空器材、軍用武器、船等零組件。

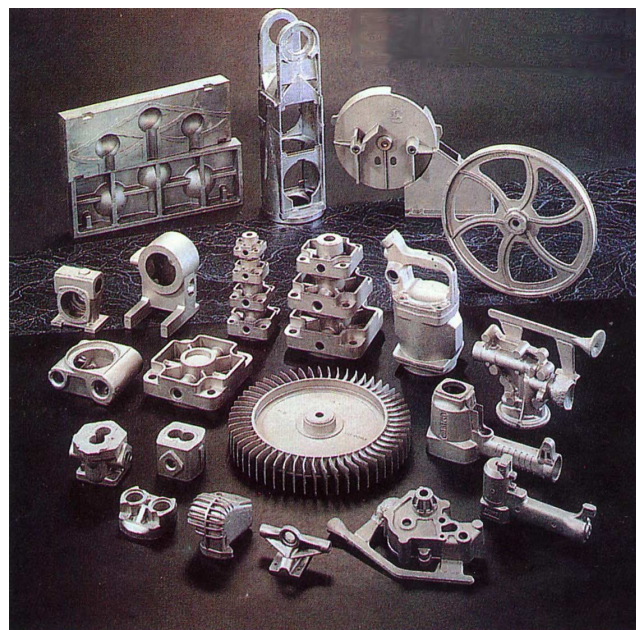
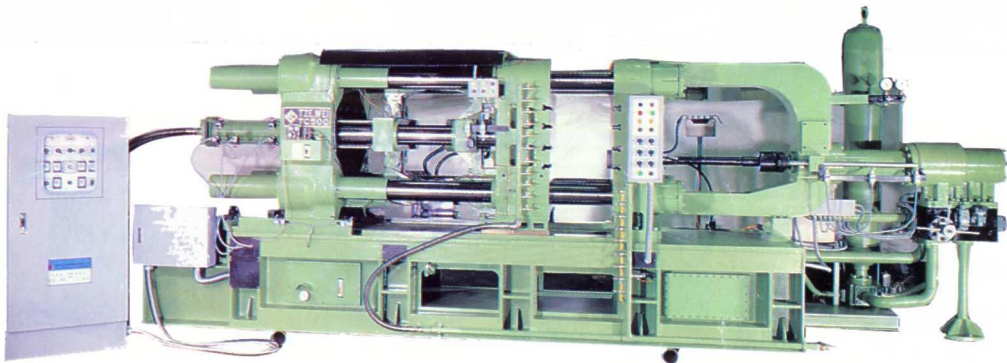


圖 4 鋁合金重力鑄造之各型零組件



生產產品：汽機車零件、建材、五金零件、裁縫機等機械零件

圖 5 鋁合金 150 噸級壓鑄機

對於 Al-Si-Mg 系合金的金屬模鑄造成鑄件在國內最普遍的是 AC4C 即 A356 合金以低壓鑄造及重力鑄造產量最大即汽車用鋁合金輪圈。其次應用航太零包括飛機零件能飛彈油箱及外殼，我國的天弓飛彈有多樣配件均採用此合金材料。唯此類型之鑄件成型後必須再施以長時間的固溶化處理再作人工時效硬化可大大提高韌性並增加延伸率。表 11 為 AC4A 經 T6 處理之金屬模鑄件不同溫度之機械性質。

表 11 AC4A 經 T6 處理之金屬模鑄件不同溫度之機械性質

溫度(K)	抗拉強度(MPa)	降伏強度(MPa)	伸長率(%)
297 <sup>*1</sup>	323	255	7
373 <sup>*1</sup>	310	262	6
422 <sup>*1</sup>	120	96	30
451 <sup>*2</sup>	227	193	15

\*1 試驗溫度 36Ms 保持後特性。

\*2 試驗溫度 360ks 保持後特性。

### 三、鋁合金之熱處理

鋁鑄件不論是砂模或金屬模爲了要達到高延展性高抗拉強度均需施以相關的熱處理，而鋁合金之熱處理所用的溫度，通常較低，一般可區分爲下列三種：

#### (一)退火處理(Annealing)

退火溫度 340°C，可以消除鑄造所形成之內應力，經退火處理後，含相組織改變，抗拉強度會降低但延性會增加。所以在高溫退火時，其時間須短促，而且需採爐內徐冷。如鋁合金塊於壓鍛造，輾壓後，其展性減少很多，故宜退火以恢復其延性。通常鋁合金之退火溫度爲 350~380°C 並於大氣中冷卻。加熱時應對溫度嚴格管制，溫度計需定時校正，並選用高精度之測溫計。而杜拉鋁合金之退火溫度需熱到 430°C，然後在爐內緩慢冷卻至 230°C 後才移出爐外冷卻。

#### (二)固溶化熱處理(Solution Treatment)

將鋁合金加熱至溶解度曲線以上的溫度，保溫相當時間，迅速急冷（淬火在常溫水中，水流需保持循環才能淬火完全），則因熔體保持過飽和狀態而存在於常溫，此即爲固溶化處理。此處理後之鋁合金即可改變其金相組織，又可使其增加強度。其處理之溫度，將視其成份不同而異，通常在 500~540°C 之間。冷卻硬化時間愈短愈好在離開爐門後需在 15 秒內完成，而熱處理爐內保溫時間依鑄件厚度而定。

#### (三)析出處理(Precipitation Treatment)

鋁合金經過固溶化處理後，在常溫時，有化合物由固溶體析出之傾向。若加熱至 150~250°C 時，則析出數目更多，強度與硬度增加，此即爲析出處理。含有矽化鎂(Mg<sub>2</sub>Si)較多之鋁合金，應於冷水中淬火，再予回火，熱至淬火溫度，於冷水中淬煉，再置於蒸氣箱中回火，在蒸氣箱中有許多螺旋蒸氣管分佈於箱中，並有換氣扇，使熱空氣於箱中對流，箱中溫度由氣壓力控制。一般回火溫度均低於鋁化銅 CuAl<sub>2</sub> 最大飽和量溫度下，約 150~180°C 之間，持續 12~18Hr，可使鋁化銅化合物之分子能均勻且充分受熱析出，以發揮其特效，如回火溫度過高，時間過久會減低延伸率及抗拉強度；如回火溫度過低則需要較長時間之時效處理。

#### 四、鋁合金的性狀命名法

(一)常工品(As Fabricated)：以**(F)**表明常工品，除正常必要的製造作業外，未經採行其他的熱處理或冷加工者。

(二)退火品(Annealed)：以**(O)**標明經由退火所得的軟質品。

(三)應變硬化品(Stain Hardened)：以**(H)**表明鍛件曾經應變硬化。更進一步將以下列標註，表明是否進行其他作業。

A 只限於應變硬化：以 **H1** 表明屬於單純的應變硬化品。

B 應變硬化後繼之以不完全退火品以 **H2** 表示。

C 應變硬化後再行穩定處理是以 **H3** 表示。

(四)固溶化處理品(Solution Heat-treated)以 **W** 表示曾經過固溶化處理。由於自然時效作用(Natural Aging)，必須顧及應加添此等時限，例如 **7,075W** 為兩個月。

(五)穩定性熱處理品(Treated to Produc Stable Tampers)除以 **T** 標示此類產品外，更有表明實況的標誌方法。

1—T2 經退火之鑄件。

2—T3 固溶化處理後冷加工者。

3—T4 固溶化處理後經歷自然時效以至接近完全穩定者。

4—T5 僅施以人工時效者。

5—T6 經過固溶化處理該再作人工時效。

6—T7 經過固溶化處理該再作穩定處理者。

7—T8 經過固溶化處理該經冷加工而再接受人工時效工作者。

8—T9 經過固溶化處理該人工時效再冷加工者。

9—T10 經人工時效後冷加工者。

在鋁合金中，取 **A356** 為例其固溶化處理之保持時間砂模鑄件約 **6-24Hr** 金屬模鑄件保持時間約 **4-12Hr**，另外在時效處理之溫度為  $150^{\circ}\text{C} \sim 160^{\circ}\text{C}$  處理時間在 **1-6** 小時。

#### 五、鋁合金熔解及熔劑之使用方法

鋁合金的熔解一般採用反射爐熔解其燃料有重油或天然瓦斯，熔解完成後再轉入坩堝爐進行除渣作業→脫氣處理→靜置→微細化改良處理→最後除渣→進行澆注鑄件。為什麼要熔劑處理？因為鋁合金本身非常容易氧化，而且熔湯內氧化物不易分離，吸入氫氣(水份)在凝固時成為大量氣體而放出成為針孔(Pin Hole)另外還造成結晶組織粗大。所以必需加入除渣熔劑、脫氣劑、細化劑等進行。

表 12 所示為鋁合金不同規格分別使用不同熔劑之說明

表 13 所示為鋁合金熔解及基本處理流程圖

表 14 所示為鋁合金之熔劑處理之標準溫度

**表 12 鋁合金之種類區別熔劑之使用表**

合金名	純 AL ACLA.5A	AC2A.2B AC3A AC4A.4B 4C.4D ADCL.3 10.12	AC9A.7B ADC5.6	AC8A.8B.8C	高 Al-Si (A390)	
合金系	Al-Al-Ca 系	Al-Si 系	Al-Mg 系	Al-Si-Ca-Ni	Al-Si-Cu 系	
使用 區 分	除滓	非 Na 系除滓劑 (一般除滓劑)	一般除滓劑	非 Na 除滓劑	一般除渣劑 (非 Na 系除渣劑)	非 Na 系除滓劑
	脫氣	非 Na 系脫氣劑 (一般脫氣劑)	一般脫氣劑	非 Na 系脫氣劑	一般脫氣劑 (非 Na 系脫氣劑)	非 Na 系脫氣劑
	微細化 改良	Ti-B 系 微細化劑	Na 系改良處 理劑 1) (Ti-B 系微細 化劑)	Ti-B 系微細化劑	Na 系改良 處理劑 2) (P 系微細化劑)	P 系微細化劑

表 13 鋁合金熔解及基本處理流程表

鋁合金鋁湯之基本處理順序如後

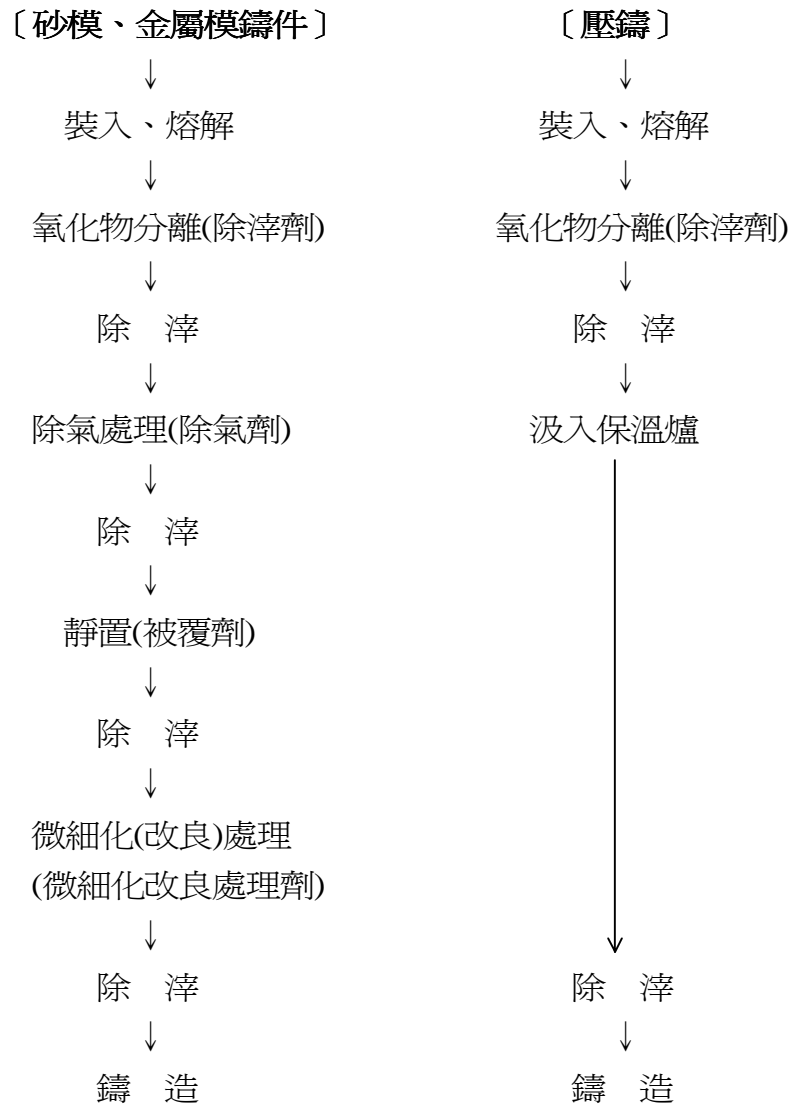


表 14 鋁合金熔劑處理之標準溫度單位°C

合金名	純 Al ACLA.5A	AC2A.2B AC3A AC4A.4B.4C.4D	ADCL.3.10.12	AC7A.7B. ADC5.6	AC8A.8B.8C	高 Al.Si (A390)
除滓處理	680-730	680-750	反射爐 700-760 保溫爐 680-700	680-730	680-730	750-800
除氣處理	660-720	680-720		660-720	660-720	750-860
微細化改 良處理	690-730	700-720		690-730	700-740	760-800

鋁及鋁合金採用高週波溶解時，必須使用石墨坩堝做內襯，除真空熔解外，一般大氣中氫氣  $H_2$  為鋁熔解中品質不良的主因，所以先來瞭解氫氣的來源：

- (一)來自空氣中的氫氣及熔解爐之氣氛。
- (二)含有蒸氣的耐火材料及塗料且未經確實烘乾的勺具，澆斗等。
- (三)潮濕環境下含有水份的原料鋁錠及回爐料。
- (四)含有油污之廢機車汽車零件及未烘乾之鋁屑。
- (五)未完善儲存而受潮之各類熔劑、除渣劑、清淨劑。

在無法避免氫氣混入的情況，只能採用除氣作業來改善品質，以獲得高品質鋁熔液，而常用於鑄造業的除氣方法為通入惰性氣體加氮氣  $N_2$  或氬氣  $Ar$  等。

圖 6 所示為真空除氣設備先抽真空後再通入惰性氣體

圖 7 所示減壓測氣設備用來測除氣是否完全

圖 8 所示為除氣前後試片於減壓測氣後之剖面比較圖

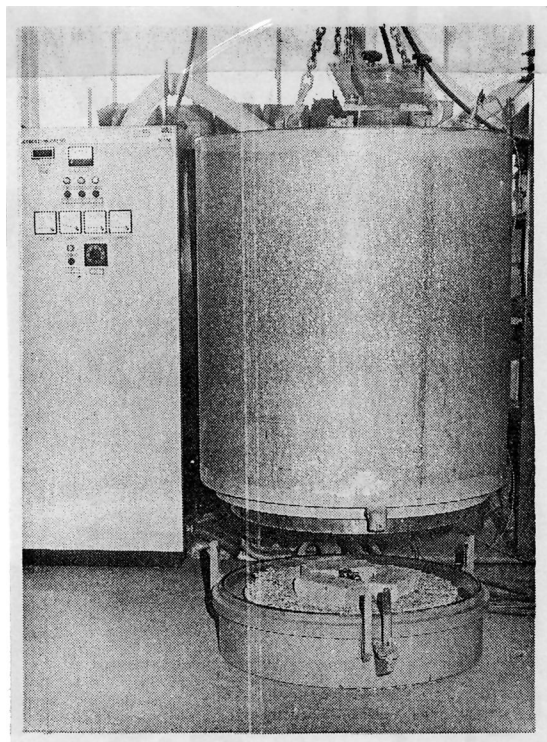


圖 6 真空除氣設備

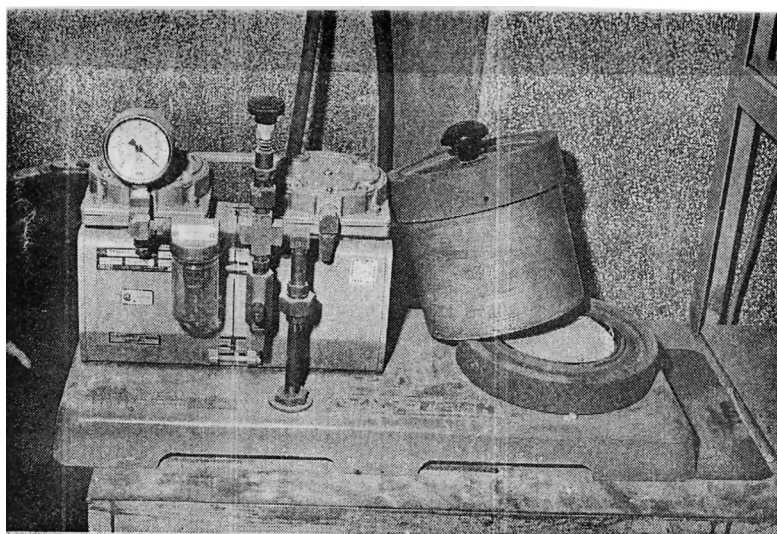


圖 7 減壓測氣裝備

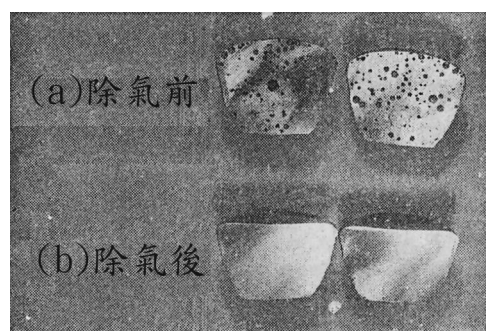


圖 8 除氣前後比較圖

在除氣作業中鋁熔液的溫度須控制在  $700^{\circ}\text{C}$  到  $720^{\circ}\text{C}$  才能得到完美的鑄件，而且除氣效果也最好。且盡量在 20 分鐘內將熔湯澆注完畢超出此時間需再進行減壓測氣如 OK 才能繼續澆鑄否則須重新再進行除氣處理。



圖 9 所示為鋁合金熔解用工具使用說明  
熔解用工具類

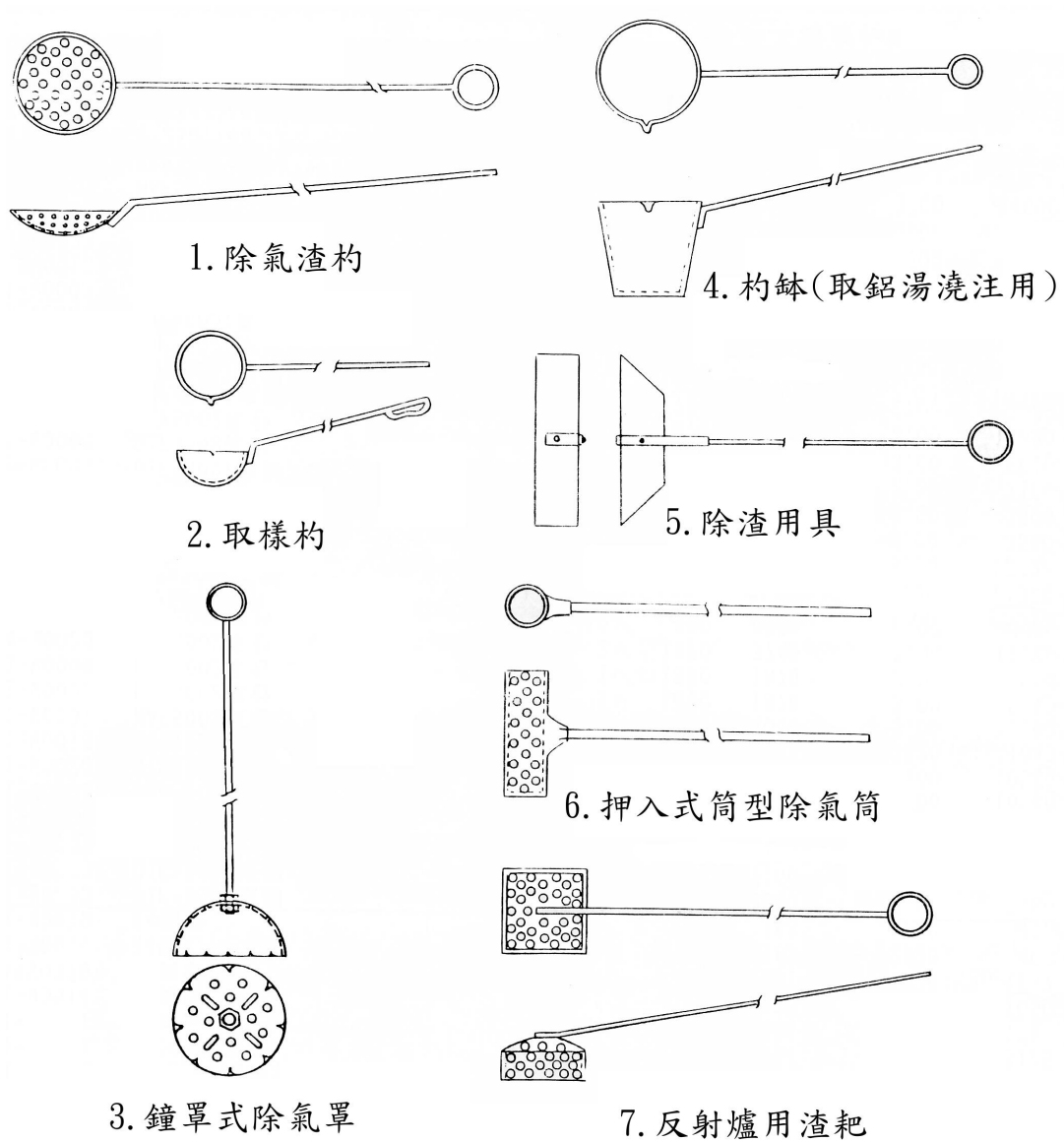


圖 9 鋁合金熔解作業用工具

## 學習評量二

請不要參考資料或書籍，在一下列各題前之空格寫出正確的答案。

## (一)是非題：50%

- ( ) 1.鋁的特性是比重 2.7，因質輕所以運用於汽機車零件很適合。
- ( ) 2.鋁是世界分佈最普遍的金屬，所以其用途僅次鐵的第二重要金屬。
- ( ) 3.鋁矽鎂系合金中 A356 在國內用途最廣使用於汽車鋁合金輪圈。
- ( ) 4.鋁合金本身很容易氧化，而且熔湯內氧化物不易分離。
- ( ) 5.溶解時吸氧氣在凝固時，大量氣體放出會成爲針孔不良品。
- ( ) 6.金屬鋁之色澤爲銀白而有閃光，其價格較鋼鐵貴但比重輕 1/3。
- ( ) 7.純鋁極軟，導電熱性良好故用於電線電纜使用量甚多。
- ( ) 8.鋁礦雖廣佈於地殼上，僅水礬土礦具開採價值。
- ( ) 9.我們在市場上買到的鋁線，鋁棒是利用氧化鋁由電解法製成。
- ( ) 10.鋁銅合金中含銅量 4%，其熔點爲 670°C

## (二)選擇題：50%

- ( ) 1.純鋁有優良的延長性所以可軋成鋁箔到(1)0.005 公厘 (2) 0.006 公厘 (3) 0.0032 公厘。
- ( ) 2.下列何者不屬於鋁合金之熱處理(1)退火處理 (2) 固溶化處理 (3) 析出處理 (4) 滲碳處理。
- ( ) 3.經過固溶化處理後再作人工時效，請選出正確的標誌 (1)T3 (2)T5 (3) T6 (4) T8。
- ( ) 4.以鋁矽鎂合金中的 AC4C 合金其除氣處理最適合的鋁湯溫度是下列那一個(1)680°C~720°C (2)650°C~670°C (3) 730°C~750°C (4) 750°C。
- ( ) 5.除氣作業中常用的惰性氣體有那兩種(1)氧，氫氣 (2) 氮，氫氣 (3) 氮，氬氣 (4) 氬，氟氣。

筆記欄

### 學習評量二解答

#### (一)是非題

1. (○)
2. (×) 第三重要金屬，第二為銅
3. (○)
4. (○)
5. (×) 吸氫氣
6. (×) 鋁比重較鋼鐵輕 2/3
7. (○)
8. (○)
9. (○)
10. (×) 650°C

#### (二)選擇題

1. (2)
2. (4)
3. (3)
4. (1)
5. (2)

你已經瞭解非鐵金屬材料中的銅及銅合金、鋁及鋁合金之規格種類及特性用途，並熟悉相互間之關係，接著你將近入第三個目標。

本單元的第三個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確的說出鎂及鎂合金的規格種類及特性用途。

### 壹、鎂(Magnesium)及鎂合金(Magnesium Alloy)

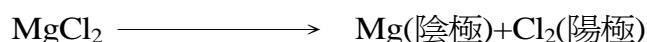
鎂是最輕的輕金屬，其比重約 1.74，其它鎂合金約 1.82。所以在太空發展方面它佔有重要地位，他的光能或許會創造更遠大的將來，它是值得重視的金屬。鎂為銀白色之金屬，比熱 0.249，受熱膨脹，其熱膨脹係數 0.0000259，具有迅速傳熱之特性，導熱率 0.376。鎂在溼空氣中，其表面即生一層白色薄膜鹽基式碳酸鎂，以保護內部之再氧化，為防止氧化也可使用油漆保護層隔絕空氣。惟此薄膜易被水溶化，故無水中抗蝕性；易與稀鹽酸及鹽水起作用；在高溫時易與水起化學作用，另外因比重輕於鑄造時易起氣孔。同時砂模必須預先烘乾，以免與水起作用。表 15 所示為鎂之機械性質

表 15 鎂之機械性質

成型狀態	強度 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率%	勃氏硬度 H <sub>B</sub>
砂模鑄件	9.1	6	30
壓鑄鑄件	19.7	8	35
壓延材料	17.6	4	40
壓延經退火	17.6	5	33

常用於煉鎂之主要礦物，有菱鎂礦(MgCO<sub>3</sub>)白雲石(MgCO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>)光鹵石(MgCl·KClCO<sub>3</sub>)石棉 CaMg<sub>3</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> 及滑石 H<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> 等。由於鎂之氧化物為碳還原因難，所以金屬鎂多用電解法製造。常用材料為氯化鎂(MgCl<sub>2</sub>)，放入鐵坩堝中加熱溶融，以碳棒為陽極，坩堝為陰極而電解之，則於陰極析出鎂而上浮。

其化學式為



鎂合金規格標記

- a 表示退火的片料
- h 表示硬軋的片料
- AC 表示鑄件
- ACS 表示穩定處理後的鑄件
- HT 表示經過熱處理
- HTA 表示固溶處理再施行時效處理
- HTS 表示固溶處理後又經穩定處理
- A 表示時效

在國中的課程中有鎂帶點火後即可燃燒，發出耀眼的白光，生成氧化鎂及氮化鎂。而這裏所產生的鎂光能使照相之乾片感光。5%的鎂與鋁之合金，質輕而且韌性強，可供製造飛機之機翼。鎂粉(HgCl<sub>2</sub>)與氯酸鉀 KCL 混合(10：17)稱為閃光粉，用於煙火及軍事上照明彈。

近代工業所使用的構造用金屬中，鎂合金是最輕的金屬，若以同體積之重量相比較，鋁合金是其一倍半，而鋼則為其四倍半，且鎂合金之強度與重量比值亦高。對於機械強度而言，經過適當熱處理後的鎂合金，其抗拉強度可達30000~50000psi 之間，同時也具有不差的伸長率。此外，鎂合金之最大特色，乃是其具有甚佳的吸震能力。

一般而言，鎂合金的成品可經由鑄造、鍛造、焊接、及機械加工等方式獲得。而由於其鑄造性能良好，因此，可廣泛的使用不同的鑄造方法獲得鑄件。例如砂模鑄造、金屬模鑄造、精密鑄造，及壓鑄等。

由於鎂合金的質量輕、負載大、強度佳、吸震性能良好，同時具有較佳的機械加工特性，以及鑄造性能，故常用於航空零件、車輛零件、武器零件、通信器材等之製造。例如：軸承支架、齒輪箱、通信器材外匣、手提工具、汽車輪圈、戰車風扇、自行車零件等。

鎂合金雖有其優點，但在國內從事鎂合金鑄造的鑄造廠，除了軍方的工廠以及工材所鑄鍊場外，民間只有北部一加工廠與清華大學技術合作，近年已有多家開發鎂合金壓鑄、生產手機機殼及手提式電腦機殼，從事鎂合金鑄件生產的工作。造成此一現象的原因，乃是鎂合金的鑄造技術尚未被廣泛的瞭解。而究其主因，乃是鎂合金熔煉時，有易於燃燒造成爆炸的性質，因此，許多人不敢從事技術的開發。其實，燃燒的因素，在從事鎂合金熔煉時，若處理得當，是可完全予以控制的。本文將針對鎂合金的熔煉設備、熔煉過程，以及注意事項，提出一較詳細的報告。

## 一、鎂合金之分類

### (一)鎂合金之代號：

例：AZ91C-T6

其中第一個英文字母代表第一個主要元素 Al，9 則代表其含量 0.9%左右，而第二個英文字母代表另一個主要合金元素 Zn，1 則為 Zn 之含量為 0.1%左右，至於 C 則代表第三個主要之合金元素，T6 則代表其熱處理之狀況。在代表符號中第一個常用的如下所示：

A：Al	K：Zr	S：Si
E：稀土元素	M：Mn	T：Sn
H：Th	Q：Ag	Z：Zn

而第二個元素則使用到所有的英文字母。至於第三個元素除了 1 及 0 不使用外，其他字母均使用到。熱處理之代號則於鋁合金熱處理的代號相同。

(二)由用途分類：

鎂合金與鋁合金用途一樣，在其成型的過程中，分為鑄造用鎂合金(Casting Alloys)及鍛造用鎂合金(Wrought Alloy)，但是由鎂合金的代號，卻無法如鎂合金一樣，立刻分出何者為鑄造用，何者為鍛造用。常用的鎂合金如表 15 所示為常用鎂合金之化學成份及機械性質。

表 15 常用鎂合金之化學成份及機械性質

Alloy	Composition						Yield strength								Elongation in 50mm or 2 in.,%	Shear strength MPa ksi	Hardness HRB(b)
	Al	Mn(a)	Th	Zn	Zr	Others	Tensile strength MPa ksi		Compress- Tensile MPa ksi		Sive Bearing MPa ksi						
<b>Sand and Permanent Mold Castings</b>																	
AM100A-T61.....	10.0	0.1	...	...	...	...	275	40	150	22	150	22	...	...	1	...	69
AZ63A-T6.....	6.0	0.15	...	3.0	...	...	275	40	130	19	130	19	360	52	5	145	21
AZ81A-T4.....	7.6	0.13	...	0.7	...	...	275	40	83	12	83	12	305	44	15	125	18
AZ91C-T6.....	8.7	0.10	...	0.7	...	...	275	40	195	21	145	21	360	52	6	145	21
AZ92A-T6.....	9.0	...	...	2.0	...	...	275	40	150	22	150	22	450	65	3	150	22
EZ33A-T5.....	...	...	...	2.7	0.6	3.3RE	160	23	110	16	110	16	275	40	2	145	21
HK31A-T6.....	...	...	3.3	...	0.7	...	220	32	105	15	105	15	275	40	8	145	21
HZ32A-T5.....	...	...	3.3	2.1	0.7	...	185	27	90	13	90	13	255	37	4	140	20
K1A-F.....	...	...	...	...	0.7	...	180	26	55	8	...	...	125	18	1	55	8
QE22A-T6.....	...	...	...	...	0.7	2.5 Ag, 2.1 Di	260	38	195	28	195	28	...	...	3	...	80
QH21A-T6.....	...	...	60	...	0.7	2.5 Ag, 1.0 Di	275	40	205	30	...	...	...	...	4	...	...
ZE41A-T5.....	...	...	...	4.2	0.7	1.2RE	205	30	140	20	140	20	350	51	3.5	160	23
ZE63A-T6.....	...	...	...	5.8	0.7	2.6RE	300	44	190	28	195	28	...	...	10	...	60-85
ZH62A-T5.....	...	...	1.8	5.7	0.7	...	240	35	170	25	170	25	340	49	4	165	24
ZK51A-T5.....	...	...	...	4.6	0.7	...	205	30	165	24	165	24	325	47	3.5	160	23
ZK61A-T5.....	...	...	...	6.0	0.7	...	310	45	185	27	185	27	...	...	...	170	25
ZK61A-T6.....	...	...	...	6.0	0.7	...	310	45	195	28	195	28	...	...	10	180	26
<b>Die Castings</b>																	
AM60A-F.....	6.0	0.13	...	...	...	...	205	30	115	17	115	17	...	...	6	...	...
AS41A-F(d).....	4.3	0.35	...	...	...	1.0 Si	220	32	150	22	150	22	...	...	4	...	...
AZ91A and B-F(e) 9.0	9.0	0.13	...	0.7	...	...	230	33	150	22	165	24	...	...	3	140	20
<b>Extruded Bars and Shapes</b>																	
AZ10A-F.....	1.2	0.2	...	0.4	...	...	240	35	145	21	69	10	...	...	10	...	...
AZ21X1-F.....	1.8	0.02	...	1.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
AZ31 B and C-F(d) 3.0	3.0	...	...	1.0	...	...	260	38	200	29	97	14	230	33	15	130	19
AZ61A-F.....	6.5	...	...	1.0	...	...	310	45	230	33	130	19	285	41	16	140	20
AZ80A-T5.....	8.5	...	...	0.5	...	...	380	55	275	40	240	35	...	...	7	165	24
HM31A-F.....	1.2	3.0	...	...	...	...	290	42	230	33	185	27	345	50	10	150	22
M1A-F.....	1.2	...	...	...	...	...	255	37	180	26	83	12	195	28	12	125	18
ZK21A-F.....	...	...	...	2.3	0.45(a)	...	260	38	195	28	135	20	...	...	4	...	...
ZK40A-T5.....	...	...	...	4.0	0.45(a)	...	276	40	255	37	140	20	...	...	4	...	...
ZK60A-T5.....	...	...	...	5.5	0.45(a)	...	365	53	305	44	250	36	405	59	11	180	26
<b>Sheet and Plate</b>																	
AZ31B-H24.....	3.0	...	...	1.0	...	...	290	42	220	32	180	26	325	47	15	160	23
HK31A-H24.....	...	...	3.0	...	0.6	...	255	33	200	29	160	23	285	41	9	140	20
HM21A-T8.....	0.6	2.0	...	...	...	...	235	34	170	25	130	19	270	39	11	125	18
PE(f).....	3.3	...	...	0.7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

(a)Minimum.(b)500-kg load, 10-mm ball.(c)A and B are identical except that 0.30% max residual Cu is allowable in AZ91B.(d)For Battery Application.(e)Properties of B and C are identical, but AZ31C has 0.15 min Mn, 0.1 max Ni.(f)Photoengraving grade.



### (三)由合金元素分類：

鎂合金除了由成形過程上可分兩類，另外由其合金元素的添加亦可分為鋯系鎂合金及非鋯系鎂合金，兩者之差別在於前者含鋯，而後者不含鋯，兩者在熔煉的處理上不盡相同，且不能混合，此為其分類之原因。本文若不特別註明，將以非鋯系鎂合金為例予以說明。

### (四)鑄造用鎂合金：

對於鑄造用鎂合金若要分類，可分成下列數系統：

- 1.Mg-Al-Mn 系：含矽或鋅，或兩者均有，如 AM，AS 及 AZ 系。
- 2.MG-Zr 系：含鋯為主如 K 系。
- 3.Mg-Zn-Zr：部分含稀土元素，部分不含，如 ZK、ZE 及 EZ 系。
- 4.Mg-Ag-Zr 系：含 Zn 或不含鋅如 HK、HZ；ZH。
- 5.Mg-Ag-Zr 系：含稀土元素或不含，如 QE 及 QH 等。

## 二、熔煉設備

坩堝

材料

鎂合金熔煉時，坩堝材料的選擇，乃是一重要的事項。所選擇的材料，必得能耐鎂液的侵蝕，以及熔煉用鑄熔機的銹蝕。同時也得考量坩堝的壽命、成本、及操作方便與否等因素。因此，一般而言，鎂合金熔煉時，其坩堝的材料常選用下列的一些鋼料：

- 1.肥粒鐵鉻鋼：例如 ASTM430，可長期至於高溫環境之中。
- 2.鑄鋼：例 ASTM A27-23，B.S.3100
- 3.低碳鋼：例 ASTM1020。
- 4.鍋爐用鋼板。
- 5.外用耐熱爐，內用低碳鋼。

上述五種材料中，使用最頻繁的是 ASTM1020 及鍋爐用鋼板。使用上是將鋼板焊接起來即可，選用此材料在於材料價格便宜和製造成本較低之優點。

### 三、表面處理

坩堝之材料選定後，經製造完成，坩堝表面仍需要處理，以延長坩堝之壽命，常用的方法有下述幾種：

#### (一)浸漬處理

所為浸漬處理，係一種鍍鋁的處理，但方法較簡單。此法係指坩鍋直接浸入鋁水中，而後迅即提起，放置冷卻後，即可備用。此法的理論係鋁與坩鍋中的鐵份可化合成耐高溫的  $\text{FeAl}_3$ ，但此法對於只產鎂合金的工廠不適用，因為尚得先準備一個大的熔鋁爐，因此較適合實驗室內使用。

#### (二)噴敷處理

噴敷處理係將鋁粉以高熱熔解後，使用噴槍將鋁粉噴敷於坩鍋外層，但是在進行鋁粉噴敷前，沿得噴敷另一種特殊金屬材料，由此不但可增加鋁粉的附著力，更可延長坩鍋的壽命，以發揮更佳的作用。此一方法適合工廠使用，因為方法簡單、確實，而有最佳效果。

#### (三)氧化鋁處理

氧化鋁處理為一種最簡易的方法，此法係將一定粒度的氧化鋁粉與黏接劑混合，攪拌均勻後，以刷子或噴槍將氧化鋁粉(噴)於坩鍋內外部，而後經過烘乾的處理，待黏結劑揮發乾燥，即可使用。此法雖較簡單，但若是處理不當或是黏結劑使用欠妥，則非但氧化鋁粉無法附著於坩鍋壁上，形成保護層，甚至會形成鎂溶液中的雜質。

### 四、注意事項

(一)避免使用含鎳之材料，因助熔劑內含有大量的氟，鎳易與氟起作用，耐蝕性差，造成坩鍋壽命減短，間接造成成本之增高。

(二)材料中之鈷含量必須低於 1%。

(三)坩鍋厚度至少要在 5~8MM 以上。

(四)熔煉之前，要先檢查鋼鍋。檢查方法有二：一為敲擊法，敲擊坩鍋，由聲音判斷坩鍋是否有裂縫。另一為加熱法，將坩鍋燒紅，以目視檢查是否有裂縫。坩鍋之檢查甚為重要，檢查不確實，則鎂水會因滲漏造成燃燒，甚至爆炸的危險。要求坩堝之厚度，其目的也在此。

## 五、熔爐

用於鎂合金熔煉的爐子有三種：

- (一)感應爐。
- (二)電阻爐。
- (三)油爐或氣爐。

這三種不同加熱方式的爐子，各有其特性。

其中電阻爐的溫度可得到比較精確的控制，但若沒有廉價的電力時，則應考慮到生產成本時，則不太適合；故電阻爐較適合實驗室中使用。至於感應爐溫度甚不易控制，而且設備價格昂貴，但其優點為其效率較高。油爐或氣爐，其加熱降溫速度均快，溫度控制雖不如電阻爐精確，但較有把握控制在一範圍內，設備亦較感應爐便宜，若再考慮油、氣的價格，操作之方便，此時為工廠生產最佳的選擇。

## 六、澆斗(ladle)與手工具

澆斗與手工具所使用的材料與坩堝相似，一般注意事項也相同，平面處理可選擇適當的方法進行。圖 10 為不同種類的澆斗、圖 11 則為鎂合金熔煉時的各種手工具。各種不同的器具，有其不同的用途，再實際應用時，所使用之器具未必一定要與附圖相似，可依實際需要，製作類似的器具使用。

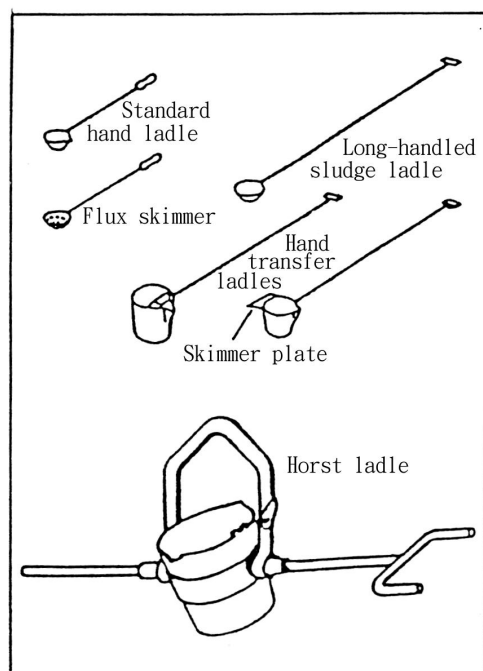


圖 10 不同種類之澆斗

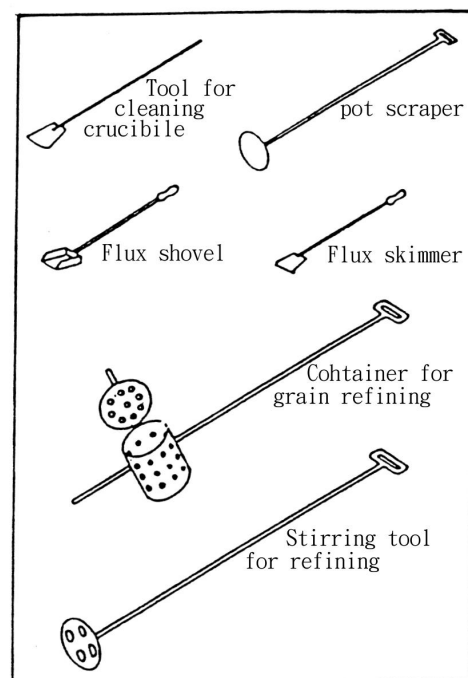


圖 11 鎂合金熔煉之工具

## 七、熱電偶

可使用 K Type 及 J Type 的熱電偶，熱電偶的準確性應隨時注意校正，至少每月一次作校正。最重要的是熱電偶應有保護管，材料的選擇宜用軟鋼或不含鎳的不銹鋼，也可使用陶瓷管時，更注意材料的選擇，避免使用易遭熱裂 (Thermo-shock) 的材料。

## 八、熔煉要點

助熔劑(Flux)

種類

一般而言，助熔劑因其使用的目的不同，可概分為兩類：

- (一) 覆蓋用：此類的助熔劑，在鎂水的表面會形成一層硬殼，達到隔絕空氣與鎂水的接觸，而減少氧化的現象，並可避免燃燒。
- (二) 熔解用：此類助熔劑，大體上有晶粒細化並兼除氧的作用，使用時常加入鎂水中。

## 九、鋇系鎂合金助熔劑

前面已提過鎂合金可概分為鋇系及非鋇系兩大類。前面所述助熔劑，部分可使用於鋇系鎂合金，但使用於鋇系鎂合金得注意下列幾點：

- (一) 鋇系鎂合金含有鋇及稀土元素，部分稀土元素會與  $MgCl_2$  反應生成氯化稀土元素，減少合金效果，故不宜使用含  $MgCl_2$  之助熔劑，宜使用含  $CaCl_2$  者代替  $MgCl_2$ 。
- (二) 含鋇之鎂合金可用含  $BaCl_2$  之熔解用助熔劑。
- (三) 使用量約在 1% 左右。
- (四) 使用溫度在  $790^\circ C$  以上。
- (五) 戶蓋用之助熔劑，最好再加入氟石、硫黃及硼酸等物，使用溫度則在  $760^\circ C$  以上。

助熔劑使用正確，可得到高級的鑄件，但若使用不當，非但無法達到效果，甚至造成報廢品。

## 十、除氣

在鎂合金的鑄件中，不易見到氣孔，因此常被忽略氫氣在鎂合金中影響。其實，與鎂合金相比較，可發現氫氣在鎂合金中的熔解量，約為鎂合金中的四十四倍(30c.c./100g 比 0.68c.c./100g)。因此，鎂合金的除氣工作，仍有其必要；鋁合金除氣時，效果最佳的除氣用氣體是氯氣( $\text{Cl}_2$ )，但是氯氣效果雖佳，對人體卻有害。至於鈳系鎂合金中的氫氣問題較簡單，因為氫氣會與鈳化合成氫化鈳( $\text{ZrH}_2$ )因溶於鎂合金中，而不會形成氣孔。

## 十一、除氣方法

### (一)通氯氣

以石墨管或鈦管(ASTM338)直接插入鎂水中，在通以氯氣，但採用此法時，爐體的上端應有集氣裝置，同時需有過濾裝置，以免氯氣造成公害。通氯氣的方法效果雖佳，但由於工業安全上的要求嚴格，設備投資較大，故在國外的工廠，使用此法者甚少。

### (二)除氣劑

除氣劑構成成份係以氯為主，例如六氯化苯、六氯乙烷等，投入鎂水中遇熱而起反應，與氫作用後而達到除氣的效果。此外，部分的助熔劑，其中因含有率，在分解後，亦可產生除氣的功用。

## 十二、除氣溫度

除氣時的溫度宜在  $715\sim 735^\circ\text{C}$  之間，使用此溫度的原因是  $\text{MgCl}_2$  會於  $708^\circ\text{C}$  時行程，溫度過高時  $\text{MgCl}_2$  形成過多，則除氣效果降低，溫度太低時，則在澆鑄前昇溫的過程中，會再度吸收氣體。

### 十三、保護氣體

鎂合金熔解時，保護氣體之使用甚為重要，其主要功用係抑制鎂合金的氧化，以及燃燒的現象，以免造成金屬的損失；或是形成災害。常用的方式有下述三種：

#### (一)SO<sub>2</sub>法

此法較少被採用，因為 SO<sub>2</sub> 氣體，對操作人員會造成傷害。

#### (二)SF<sub>6</sub>法

此是最常採用的方法 SF<sub>6</sub> 氣體的價格昂貴，因此在使用時，常以 SF<sub>6</sub> 與其他的氣體混合使用，以降低成本。但使用的氣體，不能用化性活潑的氣體，以免與每反應。常用的有二氧化碳、氮等，混合時有其一定的比例，以期達到效果，而又可得到最大經濟效益。使用時的通氣體量，則隨熔煉時的步驟隨時予以調整。

#### (三)0.0003~0.003%的鉍

鎂合金中含有 0.0003~0.003%的鉍，亦有抑制氧化的效果，但鉍量不可過多，以免影響晶粒細化效果，使用的溫度常在 750°C 以下。

### 十四、晶粒細化

#### (一)過熱法

過熱法是較早的一種方法，其法係將鎂水昇溫到 850~900°C 以後，保持 20 分鐘，而後迅速冷卻到澆鑄溫度澆鑄，則鎂水溫度不得低於 840°C。此法的缺點是操作溫度太高，危險性增高，同時設備的壽命減短。

#### (二)碳接種法

非鋅系鎂合金，亦若用碳接種法達到晶粒細化效果。常用的接種法有下述三種：

1. 以 1% 的石墨粉或是其他的碳添加物，例如 Al<sub>4</sub>C<sub>31</sub> 等加入。
2. 將四氯化碳、甲烷、乙烷等於 760°C 時加入。
3. 有機化合物法。

在 760~780°C 時投入 2~5% 左右的有機化合物，例如六氯化碳、碳化鈣、六氯化苯等，此法溫度控制甚為重要，溫度太低則無接種效果，溫度過高則晶粒反而粗大。

### (三)攪拌法

加入精煉後的助熔劑後，以人工或機器攪拌 3~10 分鐘後，以澆鑄溫度澆鑄。但攪拌時，要有攪拌的技巧，以免因為技巧的不妥當，非但無法達到晶粒細化效果，反而造成大量的含渣現象。

### (四)添加鈣

加入 0.3% 以下的鈣可調節晶粒細化。

### (五)添加鋅

添加鋅及係鋅系鎂合金，不必在另外進行晶粒細化工作，但添加鋅要注意下列三點：

1. 鋅含量要在 0.2% 以上，方有晶粒細化效果，但 Al、Fe、Mn 等元素會破壞細化作用，故在熔煉時要注意此點。
2. 鋅系鎂合金在回爐時，要再次添加鋅，因為鋅在坩鍋內會因熔煉而損失。
3. 鋅之加入，係以母合金方式加入。

## 十六、熔煉步驟

至於鎂合金熔煉時的步驟，常因熔煉的金屬不同，而有許多技巧性的問題，以及不同的細節，有不同的小更改。本文將不予贅述，僅就原則性及個人經驗敘述如下：

- (一)檢查坩鍋壁厚。
- (二)乾燥坩鍋表面處理。
- (三)下料。鎂錠要去水去油，且保持乾淨。
- (四)加助熔劑。
- (五)升溫，鎂錠熔解後再加助熔劑。
- (六)合金處理。
- (七)除氣及晶粒細化處理。
- (八)除渣。
- (九)澆鑄。
- (十)坩鍋清理。

## 十七、熔煉注意事項

### (一)燃燒

鎂合金唯一氧化性活潑的金屬，極易與氧起作用，若是操作不慎，在一定溫度以上的鎂水，甚亦引起燃燒的現象，而且一開始燃燒，必待金屬完全燒完為止，故甚易造成傷害。

### (二)水氣

鎂合金的各種操作工具，在使用之前，一定要經過預熱的步驟以消除水器，避免造成危險，在添加鑄錠時，亦得注意預熱的步驟。

### (三)剩餘量處理

鎂合金熔煉時所產生的渣，常沈澱於底部。因此，在澆注完成後，應迅速將坩鍋內壁的雜質清乾淨，並將底部的殘渣一起倒出於固定的容器內，同時要加抑制劑，以免殘渣引起燃燒。此外，坩鍋使用一段長時間後，腐蝕部分太多時，則得另外予以處理，以備再用。

### (四)環境控制

在熔煉過程中，使用的助熔劑會放出有毒的氯氣，若是砂模澆鑄時，除了氯氣外，尚會產生二氧化硫，以及其他的氣體。因此，在熔煉澆鑄的場所，應有良好的通風設備，以免引起職業傷害。鎂合金燃燒時，極易產生氧化鎂粉末，因而抽塵設備亦為必要。另外為避免意外發生時，造成太大的損失，廠房應有完善設備。

### (五)人員防護

由前述得知，鎂合金燃燒時，甚至會產生爆炸的危險，因而現場之操作人員，一定要有齊全的個人防護器具，例如安全帽、安全鞋、防熱圍巾、防熱手套等。

我國每年由國外進口六百五十噸的鎂錠，價值約為八千萬元，但是這些進口的鎂錠，從事鎂合金鑄件生產的量，不超過百分之一，其餘的量絕大部分均使用為鋁合金熔煉時的添加元素。樂觀的說，鎂合金鑄件的市場，在國內可說完成未被開發，換言之，發展潛力無窮。

任何一種金屬的熔煉，均非簡單容易，書本上的知識只提供了原則，實驗室內的小量實驗，亦無法直接用於生產的工作。實驗室內的工作，可不考慮成本問題，但若轉變成工業生產，則少不得要考慮成本，同時實驗與生產之間尚存在一段差距。假設任何理論轉為實際均簡單易行，則無所謂商業機密或工業機密。

鎂合金在使用上，必有其價值之一面，就如鋁合金無法完全代替鑄鋼的位置，因此，鎂合金必有其使用的地位。本文僅就鎂合金鑄造過程中的有關熔煉的部分，提出一說明，以其對有意從事鎂合金鑄造工作者有所裨益。



## 貳、鎂合金種類及特性

### 一、鎂鋁合金

此類合金質量輕於鋁，鎂與鋁中一部份結合為鋁化鎂；當低溫時，結合作用有還原傾向，此合金中，含鎂量約在 2~23% 之間。有所謂馬根拿留 (Magnalium) 合金者，其成份供鑄造者為銅含量 1.76%，鎳 1.16%，鎂 1.6%，其抗拉強度為 12~14.4kg/mm<sup>2</sup>，供軋壓者含銅 0.21%，錫 3.15%，鋁 0.72%，鎂 1.58%，抗拉強度為 20.1~29.2kg/mm<sup>2</sup>，其軋壓溫度為 350°C，有關磨擦係數小，熱導率高，比重小，強度大，且不為稀酸所侵蝕。用於 X 光機零件，人工牙齒。

### 二、鎂銅合金

此種合金，近來為工業界所重視，因為其物理性質，僅次於鎂鋁合金，並且具有更佳的傳熱性與導電性，其主要合金為銅，含量 13%，抗拉強度達 96.7kg/mm<sup>2</sup>。

表 16 所示為鎂合金的化學成份在 ASTM 規格範圍

表 16 鎂合金成份表

A.S.T.M. 規 格	Al%	Zn%	Mn%	Sn%	Mg%	附 註
A10	10		0.1		89.9	砂模或鐵模鑄造
AZ92	9	2	0.1		88.9	同 上
AZ63	6	3	0.2		90.8	砂模鑄造
M1			1.5		98.5	適合擠壓加工
AZ31	3	1	0.3		95.7	同 上
AZ51	4.8	0.8	0.25		94.15	同 上
AZ61	6.5	1.0	0.2		92.3	適合鍛造及擠壓
AZ80	8.5				90.85	同 上
AZ91	9.0	0.7	0.2		90.1	鐵模鑄造
TA54	3.5		0.5	5.0	90.1	適合鍛造

### 參、鎂合金鑄件之鑄造

一般鎂合金鑄件，以砂模鑄造時其澆口，皆應採底部進入方法為佳，因為鎂合金保熱量較低，所以其熱量損失較大。如屬薄鑄件澆口更應短且多開幾個較有成功的機會，而鎂合金鑄件冷凝時收縮率很大，有時須配以邊緣冒口，冒口具有減壓作用，可使凝冷的熔液有補充功效。冒口大小應以澆口斷面積成正比例，即是冒口大澆口斷面積亦應大。當澆鑄完後，應使鑄件於模中冷卻，因鎂合金鑄件，太早開模後經快速冷卻，容易產生鑄件斷裂的危險，故大型鑄件澆鑄完成後，應保持一小時之時間，再行開模。開箱後的鑄件，應以手噴砂機吹光即可。約使 AFS 35 號之砂較適合。切割澆冒口應以手鋸或固定良好的鋸床分割，鎂合金鑄件表面之毛邊，結疤，應以平面砂輪機(Grinder)磨除。另外為了防止銹蝕及美觀，鎂合金鑄件在出貨前應施以酸洗(Pickling)，其酸洗液之調配為一加崙水加一磅半之鉻酸鈉。或經過防止氧化的表面處理。

### 肆、鎂合金鑄件之熱處理

經由熱處理是改善鎂合金鑄件的機械性能的最有效的方法，而熱處理的方法選擇視鑄件的性質而定，高溫熱處理，可得到最大的韌性和耐震性，高溫處理後，馬上施以低溫時效處理(Aging treatment)則可獲得較大的強度及較高的硬度，但延展性則稍低。也可使用高溫回火(Austempering)可消除鎂合金鑄件內部應力，但是不能得到最大強度，一般商用鎂合金如 A10，A12 均是利用此高溫回火處理。如表 17 所示為鎂合金之熱處理各規格溫度與時間之關係。

表 17 鎂合金鑄件熱處理與時效處理之溫度與時間

A.S.T.M. 規 格	熱 處 理		時 效 處 理		附 註
	溫度°C	時 間	溫度°C	時 間	
A10	430	10 小時	170	16 小時	與 SAE50 相似 與 SAE500 相似
AZ63	380	12 小時	185	16 小時	
AZ92	400	20 小時	220	10 小時	
A12	430	20 小時	170	16 小時	
AZ101	420	20 小時	170	16 小時	

在熱處理時為防止鎂合金鑄件燒損，常通入 0.7%SO<sub>2</sub> 於爐內加熱到 565°C 也不氧化，若爐內空氣中不含 SO<sub>2</sub> 氣體，鎂質則易遇高熱燒損，經此處理後，取出鎂合金鑄件，放置於空氣中冷卻，最後進行時效處理，則可獲得滿意的強度與延展性。目前鎂合金的壓鑄(Die casting)已被大量採用生產行動電話機殼，

手提電腦框架、照像機零件，剪草機零件。皆屬高單價之鑄件。表 18 所示為熱處理與機械性質之關係

表 18 鎂合金鑄件熱處理與機械性質關係表

A.S.T.M. 規 格	熱 處 理		時 效 處 理		抗拉強度	硬 度
	時間	溫 度	時 間	°F溫度		
AZ92A	18-22 小時	760-775°F	5~15 小時	400~425	24000Psi	65BHN
AZ91A	18-20 小時	775-790°F	3~5 小時	400~425	24000Psi	60BHN
A10	18-24 小時	780-800°F	10~12 小時	325~400		

### 伍、鎂合金的特性

- 一、因質量輕如用於高速旋轉及往覆式機械零件所需動力最少。
- 二、良好的切削加工性，刀具壽命長，高透切削節省時，降低生產成本。
- 三、熱含量低，生產速率高。尺寸變化少，受溫度變化尺寸安定性高。
- 四、於低溫時其抗拉強度，機械性能，並不會降低。
- 五、具有良好的震動及受衝擊後防止變形及破壞之特性更可降低噪音。

如下列所示為鎂合金加工與其它材料相對使用動力比較：

鎂合金 1.0，鋁合金 1.8，黃銅 2.3，鑄鐵 3.5，軟鐵 6.3，鎳合金 10.0

## 學習評量三

請不要使用參考書籍或翻閱前面的資料，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

## 一、是非題 50%

- ( ) 1. 鎂為銀白的金屬，為最輕的輕金屬，其比重約 1.74。
- ( ) 2. 鎂在濕空氣中，其表面生一層白色薄膜為鹽基式碳酸鎂，具有保護內部之再氧化。
- ( ) 3. 鎂帶燃燒時，會發出耀眼的紅光。
- ( ) 4. 金屬鎂是以電解法製造所得。
- ( ) 5. 鎂合金砂模鑄造之砂模澆鑄前必須烘乾，以免與水起作用。
- ( ) 6. 鎂合金砂模鑄造其澆口採鑄模上方進入方式為佳。
- ( ) 7. 鎂合金鑄件澆鑄完成後，可馬上開模取出鑄件，不會對鑄件產生影響。
- ( ) 8. 鎂合金鑄件，以低溫熱處理可得到最大的韌性和耐震性。
- ( ) 9. 鎂合金因質量輕適合高速旋轉及往復式機械零件可減少動力的損失。
- ( ) 10. 鎂合金本身熱含量低，所以生產速率低。

## 二、選擇題 50%

- ( ) 1. 為消除鎂合金鑄件內部應力應選用何種熱處理 (1)退火 (2)低溫時效 (3)高溫口火 (4)淬火。
- ( ) 2. 為防止鎂合金鑄件於熱處理時產生燒損，通常於爐內通入何種氣體來保護 (1)氮氣 (2)氧氣 (3)二氧化硫 (4)氫氣。
- ( ) 3. 軍事用途的照明彈所用閃光粉是由 (1)碳粉+硫磺 (2)鋁粉+鎂粉 (3)鎂粉+鹽粉 (4)鎂粉+氯化鉀 兩種混合(10：17)配成。
- ( ) 4. 鎂合金大型鑄件澆鑄完成後，為防止鑄件斷裂，應保持多少時間以後才能開模取出 (1)10 分鐘 (2)20 分鐘 (3)40 分鐘 (4)1 小時。
- ( ) 5. 感應電爐熔鑄鎂合金鑄件唯一的優點是 (1)設備價格便宜 (2)溫度容易控制 (3)成份容易控制 (4)熔解效率高。

筆記欄

### 學習評量三解答

#### 一、是非題

1. (○)
2. (○)
3. (×) 會發出耀眼白光
4. (○)
5. (○)
6. (×) 採底部進入為佳，且要多鑄口幫助成型完整。
7. (×) 馬上取出後會造成鑄件斷裂。
8. (×) 高溫
9. (○)
10. (×) 因低溫所以熔解速率快生產速率高。

#### 二、選擇題

1. (3)
2. (3)
3. (4)
4. (4)
5. (4)

## 學後評量

請不要使用參考書籍或再翻閱前面的資料，直接在各題空格處作答。

### 一、是非題 40%

- ( ) 1.熔鑄純銅一般市場都以磷酸銅作為熔劑處理且效果顯著。
- ( ) 2.砲銅是古代用於鑄造砲身而得名。
- ( ) 3.冷作黃銅又稱為低級會銅。
- ( ) 4.鋁具有金屬銀白光澤，質量輕約為鋼鐵的 1/3。
- ( ) 5.鋁矽鎂合金中 A356 材質目前應用汽車鋁輪圈使用量最大。
- ( ) 6.鋁合金熔解溫度須控制在 700~720°C 才能得到完美鑄件，而且除氧效果最好。
- ( ) 7.鋁合金的熔解最容易被吸入之氣體為氫氣並會造成針孔瑕疵。
- ( ) 8.鎂合金的熔劑因使用目的的不同可分為覆蓋用及熔解用。
- ( ) 9.鎂合金的除氣作業是以通入氮氣的方法效果較佳，但有空氣污染需防範。
- ( ) 10.鎂合金的熔煉使用保護氣體的功用在於抑制氧化及燃燒損失。

### 二、選擇題，共五題每題答對得 4 分

- ( ) 1.鋁合金因質輕其比重約 (1)7.7 (2)2.7 (3)1.7 (4)3.7。
- ( ) 2.要煉製高導電率的純銅必須採用 (1)除氣 (2)除氧 (3)除渣 (4)加碳技術與熔劑處理作業雙管齊下。
- ( ) 3.含鎳 40%具有電阻溫度係數幾近於零的鎳青銅又稱 (1)矽青銅 (2)高力黃銅 (3)康史登銅 (4)普通青銅。
- ( ) 4.鋁合金之熱處理下列何者不是 (1)退火 (2)固溶化 (3)析出 (4)滲碳處理。
- ( ) 5.請選出適合熔解鎂合金之熔爐 (1)感應爐 (2)電阻爐 (3)油爐或氣爐 (4)以上均是。

### 三、問答題 40%

- 1.簡述銅合金兩大種類及主要用途？10%
- 2.簡述鋁合金的熔解及基本處理流程？20%
- 3.請簡述鎂合金五大特性其中任意三特性？10%

## 參考書目

- 一、黃俊琦編著，1993年，金屬材料手冊，機械技術出版社，P408～P437。
- 二、張錫綸編著，1973年，鑄工學，徐氏基金會出版，P93～P132。
- 三、郭永聖編著，鋁鎂合金鑄技術，中華民國鑄造學會技術資料，No.153。