

# 感應電爐熔鑄能力本位訓練教材 球化處理

編號：PMF-IFM0506

編著者：蔡英宏

審稿者：高飛鷲、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-IFM0506 學習指引

在你學習本單元之前，你應該要先了解鑄鐵材料相關知識，熟練操作感應電爐及接種處理，且學習本職類各單元的先後順序，可參考背面之能力目錄。假如你認為自己可以的話，請翻到下一頁開始學習。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、PMF-IFM0403 及 PMF-IFM0501～0505 教材依序學習，或請教你的老師。

## 引言

在生產片狀石墨鑄鐵的同時，大部份的工場都希望能夠生產高品質鑄件，以提高附加價值產品來供應市場需求。球墨鑄鐵是片狀石墨的鐵水經由在澆盆內加入和氧、硫有強力親和作用的含鎂等球化劑，將鐵水除氧脫硫之球化處理下使鐵水凝固時，石墨成形成圓球形狀。其能受大家喜愛是因其機械性質比起片狀石墨鑄鐵提高了抗拉強度及伸長率，例如：以FCD370為例，其抗拉強度 $37\text{kg/mm}^2$ ，伸長率17%，球化處理使石墨成爲球形，是很神奇的；但是在生產作業上必須遵守其標準流程才行，例如化學成份的管制、時間、溫度的控制等，否則一轉眼間又會恢復成原來的片狀石墨。

學習熟練的技巧，使每次都能夠順遂地完成球化處理，達到高的球化率產品是非常有成就感的。

## 定義

**球狀石墨鑄鐵**：鑄鐵中的石墨幾乎是呈現圓形的形狀，其應力集中效應要比片狀石墨小很多，球狀石墨對機械性質影響很小，但基地組織則影響很大，因此有較高的抗拉強度及伸長率。例如 FCD370 其抗拉強度為  $37\text{kg/mm}^2$ ，伸長 17%。

**球化處理**：在澆斗內加入和氧、硫有強力親和作用的球化劑如鎂或稀土合金，將鐵水除氧脫硫，使鐵水凝固時，石墨可以球化成球形石墨。

**退化**：經球化處理之鐵水其鎂含量會隨時間而減少，當鎂含量低於 0.0224% 時球狀石墨將會改變形狀。當浮在鐵水上面的硫化鎂由於分解成鎂及硫時，使得鎂揮發，而硫卻得保留在鐵水中。如此重覆的反應使鎂漸漸減少，而使球墨變形或回覆成片狀，謂之球化效果的退化，簡稱退化。

## 學習目標

- 一、在不參考資料或書籍下，你能夠正確地說出球墨鑄鐵之規格及其化學成份。
- 二、在沒有參考資料或書籍下，你能夠正確的說出球墨鑄鐵的熔解製程及處理要領。
- 三、給你一份球墨鑄鐵的規格表，在無人協助下，學員能夠正確地完成球墨鑄鐵件的成份測定、調質、溫度測定、球化處理、接種及澆鑄等工作。

## 學習活動

本單元之學習活動包括相關知識及實際操作。你對球墨鑄鐵及球化處理的認識與學習上可以由下列之二條途徑選擇一途徑去學習。

一、閱讀本教材之第 6 頁至第 57 頁

二、閱讀下列參考書籍

(一)卡塞博士原著，1976 年，球墨鑄鐵 I 冊，中華民國鑄造學會編印  
1 頁~56 頁。

本教材的第一個學習目標是

在不參考資料或書籍下，你能夠正確地說出球墨鑄鐵之規格及其化學成份。

### 一、常見球墨鑄鐵規範

目前國內鑄造廠常見的球墨鑄鐵規範有CNS、ASTM及JIS等數種請參閱表1、表2、表3。一般規範內僅明訂其機械性能，而熔解的化學成份範圍則為各鑄造廠依其生產設備與鑄件形狀、大小而適當調整，以符合客戶之需求。表1、2、3為CNS、JIS與ASTM之球墨鑄鐵規範。圖1為不同等級球墨鑄鐵與灰口鑄鐵和鑄鋼機械性能比較：

表1 CNS B2118 規範的機械性質

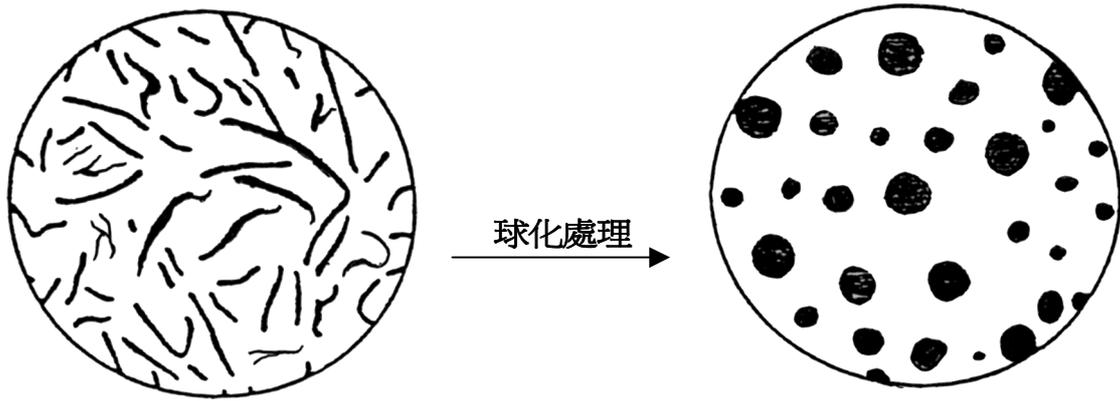
種類符號	抗拉強度 N/mm <sup>2</sup> (Kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 N/mm <sup>2</sup> (Kgf/mm <sup>2</sup> )	伸長率 %	沙丕吸收能量 J (Kgf·m)		(參考) 硬度 HB
				3 支的平均值	1 支試驗值	
FCD370	370 以上 (38 以上)	230 以上 (24 以上)	17 以上	13.0 以上 (1.3 以上)	11.0 以上 (1.1 以上)	179 以下
FCD400	400 以上 (41 以上)	250 以上 (26 以上)	12 以上	—————		201 以下
FCD450	450 以上 (46 以上)	280 以上 (29 以上)	10 以上	—————		143~217
FCD500	500 以上 (51 以上)	320 以上 (33 以上)	7 以上	—————		170~241
FCD600	600 以上 (61 以上)	370 以上 (38 以上)	3 以上	—————		192~269
FCD700	700 以上 (71 以上)	420 以上 (43 以上)	2 以上	—————		229~302
FCD800	800 以上 (82 以上)	480 以上 (49 以上)	2 以上	—————		248~352

表 2 JIS G5502 規範的機械性質

種類	符號	抗拉強度	降伏強度	伸長率 %	Charpy 衝擊值 { Kgf · m }		(參考值) 硬度 HB
		N/mm <sup>2</sup> { Kgf/mm <sup>2</sup> }	N/mm <sup>2</sup> { Kgf/mm <sup>2</sup> }		3 個試片平 均值	1 個試片 測試值	
0 種	FCD370	>370 { 38 }	>230 { 24 }	>17	>13.0 { 1.3 }	>11.0 { 1.1 }	<179
1 種	FCD400	>400 { 41 }	>250 { 26 }	>12	—————		<201
2 種	FCD450	>450 { 46 }	>280 { 29 }	>10	—————		143 至 217
3 種	FCD500	>500 { 51 }	>320 { 33 }	>7	—————		170 至 241
4 種	FCD600	>600 { 61 }	>370 { 38 }	>3	—————		192 至 269
5 種	FCD700	>700 { 71 }	>420 { 43 }	>2	—————		229 至 302
6 種	FCD800	>800 { 82 }	>480 { 49 }	>2	—————		248 至 352

表 3 ASTM A536-84 規範的機械性質

	60-40-18 等級	65-45-12 等級	80-55-06 等級	100-70-03 等級	120-90-02 等級
抗拉強度(最小), Psi , Mpa	60,000 414	65,000 448	80,000 552	100,000 689	120,000 827
降伏強度(最小), Psi , Mpa	40,000 276	45,000 310	55,000 379	70,000 483	90,000 621
伸長率(最小), %	18	12	6.0	3.0	2.0



基礎型態—片狀石墨灰口鑄鐵  
灰口鑄鐵

目標型態—球狀石墨鑄鐵  
球墨鑄鐵

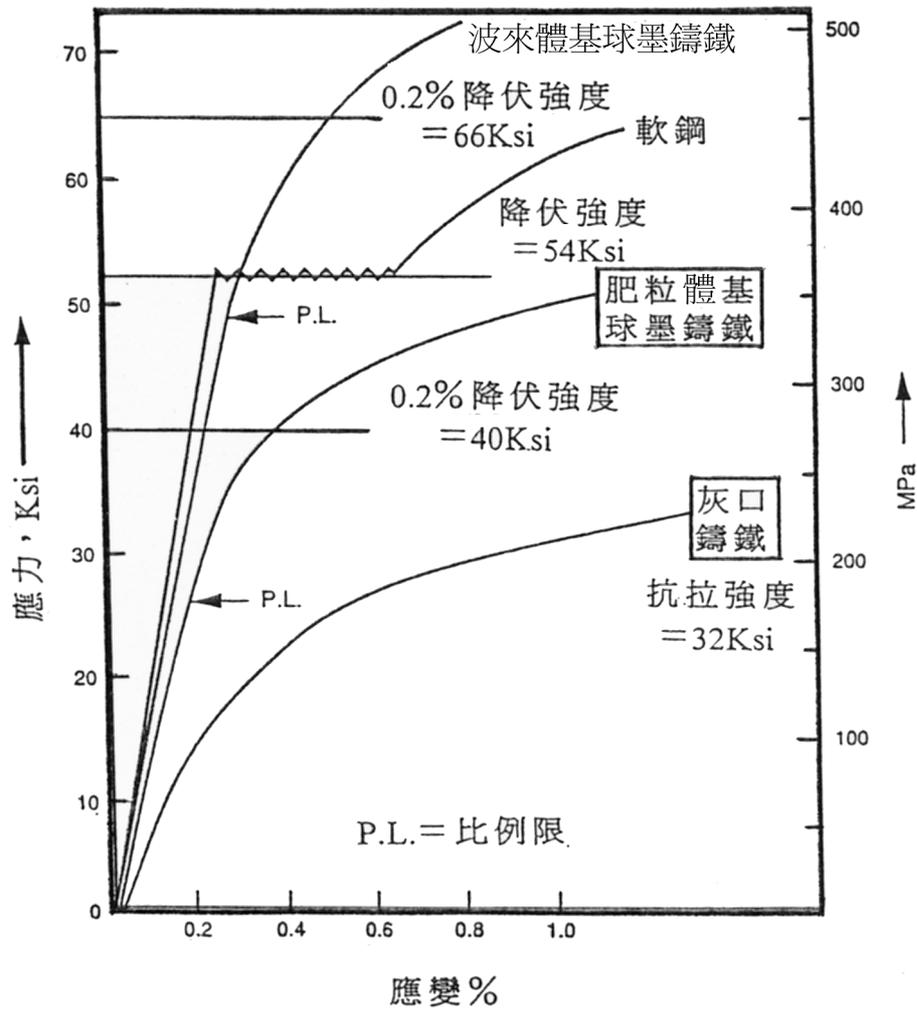


圖 1 軟鋼、灰口鑄鐵、肥粒體基地和波來體基地球墨鑄鐵的拉伸性質比較

## 二、球墨鑄鐵的種類

### (一)鑄態下生產的球墨鑄鐵

金相組織因基地不同，分為三類：

- 1.肥粒體球墨鑄鐵：相當 60-40-18 至 65-45-12 (FCD370~FCD450)。圖 2 球狀石墨位於肥粒體基地內，具有良好的延性與耐衝擊性，抗拉與降伏強度和低碳鋼相當。由於矽含量愈多，錳含量愈少時，則基地全部變為肥粒體，抗拉強度降為  $40\text{kg}/\text{mm}^2$  左右，伸長率則增加到 10~20%。
- 2.肥粒體+波來體球墨鑄鐵：相當 80-50-06 (FCD500~FCD600)。圖 3 為最常見的球墨鑄鐵，可於鑄態下生產。球狀石墨位於肥粒體與波來體混合基地內，性能介於肥粒體與波來體球墨鑄鐵間，具有良好加工性與生產成本。波來體+肥粒體組織成分為高矽、低錳，所以在石墨周圍有肥粒體，這種組織又叫牛眼組織 (bull's eye structure)。
- 3.波來體球墨鑄鐵：相當 100-70-03 (FCD700)。圖 4 球狀石墨位於波來體基地內，具有高強度，良好耐磨性，溫和延性與耐衝擊性。於相當物理性能下，其加工性優於鋼材。  
波來體組織：鑄鐵成份為低矽、高錳，其基地多呈波來體組織，抗拉強度大於  $70\text{kg}/\text{mm}^2$ ，伸長率在 3% 左右。

(腐蝕液：含 1% 硝酸的酒精溶液) 放大 100 倍

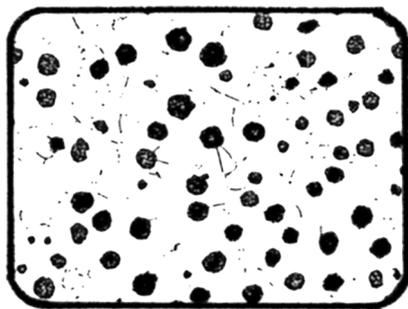


圖 2 肥粒體基地

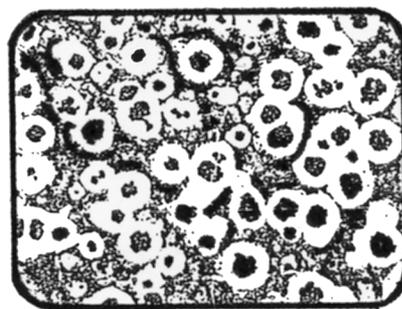


圖 3 肥粒體—波來體基地

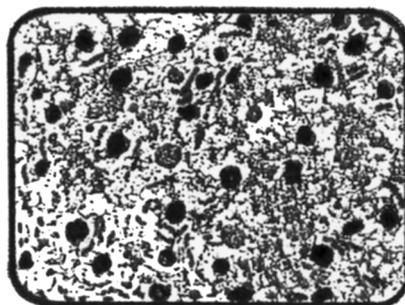


圖 4 波來體基地

由於球墨鑄鐵的優異性質，且鑄造簡單，成本低，因此，其用途亦非常廣泛，工業界常用以生產鋼錠用鑄模、輓軸、齒輪、凸輪軸、搖桿、活塞等零件。如圖5



圖 5 採用球墨鑄鐵鑄造的各種另件

(二)利用添加合金或熱處理而獲得的球墨鑄鐵

麻田散體球墨鑄鐵：相當 120-90-02 (FCD800)。

球墨鑄鐵添加合金後經淬火與回火熱處理以避免波來體產生。最終的回火麻田散體基地具有極高強度與耐磨性，但延性與韌性較差。

沃斯田體球墨鑄鐵

球墨鑄鐵添加合金後，產生的沃斯田體基地具有良好的耐蝕性，耐氧化性，良好磁性與高溫時的良好強度與尺寸穩定性。此即一般所謂的鎳抗鑄鐵 (Ni-Resist)

沃斯回火球墨鑄鐵 (ADI)

此為最近才加入球墨鑄鐵家族的一員，為傳統球墨鑄鐵經沃斯田體化與沃斯回火熱處理後可獲為波來體球墨鑄鐵兩倍強度，且仍保有高伸長率與韌性，亦具有優異耐磨性與疲勞強度。

### 三、化學成分的管制

會影響球墨鑄鐵的顯微鏡組織和機械性質的主要因素有三：(1)金屬熔解處理(2)化學成分(3)凝固速度和固態的冷卻速率。化學成分為影響石墨型態的主要因素，且對基體組織有強烈的影響，每種元素對石墨型態或基體組織的影響各不相同。球墨鑄鐵中對組織有影響的元素分類如下：

主要元素—碳 C、矽 Si、錳 Mn、硫 S 和磷 P。

球化元素—鎂 Mg、稀土元素（如鈰 Ce、鈣 Ca）等。

合金元素—銅 Cu、鎳 Ni、鉬 Mo。

殘留或特殊目的元素—鋁 Al、鉍 Bi、鉛 Pb、銻 Sb 等。

波來體和碳化物促進元素—砷 As、硼 B、鉻 Cr、錫 Sn 和釩 V。

## (一)碳和矽：

碳和矽的組合效應可由圖 6 來說明，雖然商用球墨鑄鐵的碳含量可能從 3.0%至超過 4.0%，但通常為 3.5~3.9%。斷面較薄的鑄件（如 3/8 吋或 9.5mm），碳含量較高；而較厚的鑄件（如 1.5 吋或 37.5mm）則較低。高碳含量（更正確的說碳當量 CE 值）與低冷卻速率的組合會造成石墨漂浮和退化石墨的出現。對於薄斷面（小於 1/2 吋或 12.7mm）的鑄件，建議使用 4.55%CE 值，中等斷面（1/2~1-1/2 吋或 12.7mm~37.5mm）則可使用 4.35~4.45%CE 值，厚斷面鑄件（2 吋或 50mm 以上）則要限制在 4.30%以下。

球墨鑄鐵的凝固過程中，石墨的形成會伴隨體積膨脹。因此，如碳（和矽）含量降低時，鑄件需要補充的鐵水量增加，圖 6 建議的下限為  $TC + 1/3Si = 3.9\%$  以避免縮孔，當然這僅作為參考，因為鑄件有效補充除了碳，矽含量外尚有很多影響因素。

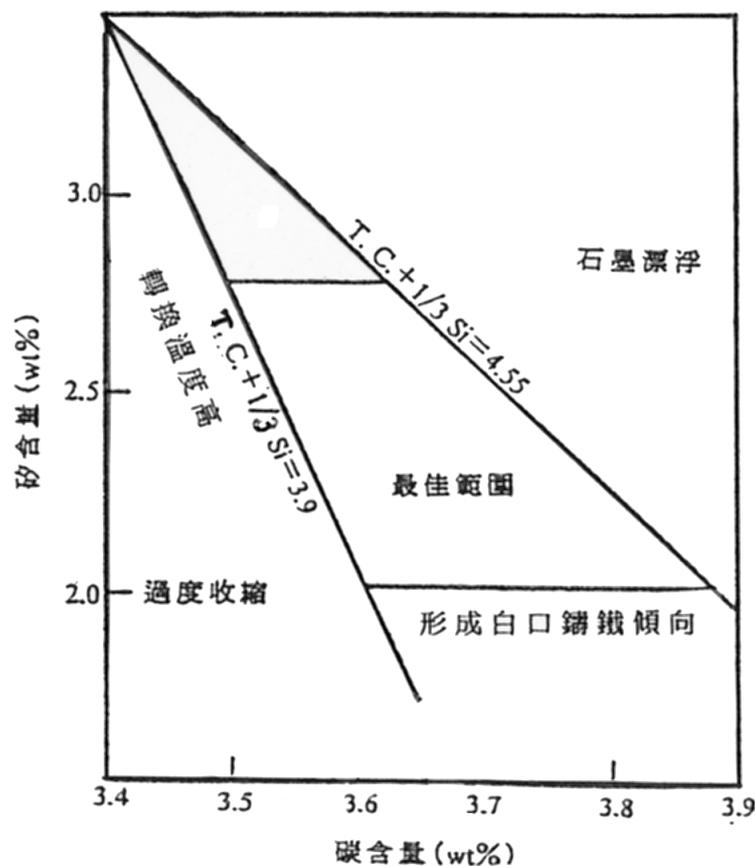


圖 6 由於製程因素所限制的碳和矽的範圍

## (二) 錳

球墨鑄鐵的錳含量範圍相當大，典型鑄態波來體鑄鐵等級如（或 80-55-06 或 FCD600）的錳含量為 0.50~0.70%，而 0.20% 的錳含量可以得到態的 60-40-18（FCD400）等級，（這當然與鑄件厚度有相當大的關係）。因為球墨鑄鐵中硫含量相當低，錳可作為合金元素，會增加肥粒體的硬度和強度，安定和微細化波來體等。對於不同矽含量建議的錳含量為鑄件厚度的函數，如圖 7 所示。增加錳含量會使鑄態抗拉和降伏強度增加，完全退火後則只稍微增加這些值。錳促進波來鐵的能力大約是鎳的 5 倍。

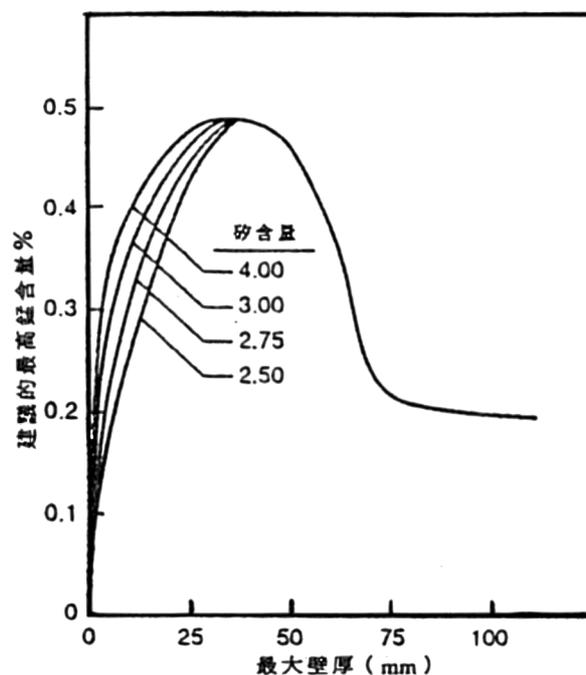


圖 7 根據最大壁厚和矽含量建議的最高錳含量

## (三) 磷

在灰口鑄鐵中，磷會偏析到共晶胞邊界，同樣的球墨鑄鐵凝固時磷也會偏析，只是晶細胞邊界圍繞在整個球狀石墨的周圍，這種磷的偏析會形成相當脆的網狀磷化物（史帝田體），對延性和韌性有害。但磷為波來體安定和微細化元素，增加硬度和降伏/抗拉強度比值，高磷含量（0.08%P）會使轉換溫度上升。

## (四) 硫

因為鎂會與硫反應成硫化鎂，因此，除硫成為生產球墨鑄鐵的基本步驟，為使原始鐵水具有經濟性，應該使用低硫原料和不會使鐵水中的硫含量增加的熔解製程，原始鐵水中硫含量會明顯影響促進和維

持石墨球化所需的鎂量。典型的高品質球墨鑄鐵是由硫量低於 0.02% 的鐵水所製成的。當原始鐵水的硫含量在 0.008%~0.01% 時，只要 0.018% 的殘留鎂量即可得到優良的球化率，如原始鐵水硫含量為 0.025~0.035%，殘留鎂量需為 0.04%；對 0.085% 硫的原始鐵水則需要 0.055% 的殘留鎂量。

#### (五)鎂

依據硫含量，得到完全球狀石墨所需的鎂含量在 0.02~0.08% 之間。當鎂添加到鐵水中，會作為除氧或除硫劑，改變石墨形狀和促進碳化物形成。一般而言，如果原始鐵水的處理未經正確控制，過量的氧或硫會消耗鎂，而使石墨球化的鎂量不足。同樣的，過量的鎂會造成碳化物的出現。

#### (六)鈰

鈰 (Ce) 也是最早被用來作為石墨球化的元素，與鎂一樣也是強烈的除氧和除硫劑，大約 0.035% 的鈰即可使過共晶鑄鐵產生球狀石墨。鈰 (與其他的稀土元素)，可以控制有害元素的影響，大約 0.005% 的鈰即可克服有害元素 (如鈦、鉛、錫、砷等) 的不良影響，而可以得到完全的球狀組織。但是，過量的鈰 (或稀土)，特別是厚斷面鑄件，會使石墨漂浮增加，形成爆炸形石墨，和在熱集中處產生塊狀 (chunky) 石墨。

#### (七)銅

銅為石墨化和促進波來體化的元素，最常用以生產波來體基地組織，因為具有強行的波來體形成傾向，肥粒體等級其含量應限制在 0.3% 以下。

#### (八)其他特殊合金元素

元 素	最高允許量 (%)	造 成 問 題
鋁 Al	0.015	球墨劣化、氣孔白口化
錫 Sb	0.002	球墨劣化
鉛 Pb	0.002	球墨劣化
鉍 Bi	0.002	球墨劣化
鈦 Ti	0.07	球墨劣化
碲 Te	0.02	球墨劣化、白口化
錫 Sn	0.03	球墨劣化
鉻 Cr	0.03	白口化
鉬 Mo	0.03	白口化
砷 As	0.01	促進波來體和碳化物
釩 V	0.03	促進波來體和碳化物

有些元素可以稀土元素中和之

## 學習評量一

請不要參閱資料或書籍，在下列各題前的空格寫出正確的答案。

## 一、是非題

- ( ) 1.球墨鑄鐵屬於灰口鑄鐵的一種。
- ( ) 2.球墨鑄鐵中的石墨呈現圓球之形狀，是由表面加熱處理而形成的。
- ( ) 3.發展球墨鑄鐵代替片狀石墨鑄鐵，因為其抗拉強度可比照鑄鋼的抗拉強度。
- ( ) 4.三種最常見的球墨鑄鐵中，以波來體球墨鑄鐵具有良好的延性與耐衝擊性，但其抗拉強度最低。
- ( ) 5.含有鎂 Mg 的球化劑，添加到鐵水中，會做除氧和除硫作用，改變石墨形狀和促進碳化物之形成。
- ( ) 6.由球墨組織的金相組織圖片中，所謂牛眼組織即是波來體加肥粒體組織，其實石墨周圍是由肥粒體包圍著。
- ( ) 7.生產薄斷面（12mm 以下）的球墨鑄鐵，可使用 4.55% 之 CE 值（碳當量）。
- ( ) 8.球墨鑄鐵機械性質之特色是高抗拉強度及低伸長率。
- ( ) 9.生產肥粒體基地球墨鑄鐵，除了控制硫（S）的含量外，提高錳（Mn）含量，可以促進肥粒體基地。
- ( ) 10.銅為波來體基地促進元素，因此生產肥粒體基地等鑄件，銅含量應限制在 0.3% 以下。

### 學習評量一答案

你的答案應該包括下列要點

#### 一、是非題

1. (×) 球墨鑄鐵屬於鑄鐵的一種。
2. (×) 球墨鑄鐵它是必須由含鎂 (Mg) 的球化劑做球化處理而成，使球墨呈現圓形之形狀。
3. (○)
4. (×) 抗拉強度最高。
5. (○)
6. (○)
7. (○)
8. (×) 高伸長率。
9. (×) 減少錳 (Mn) 含量。
10. (○)

---

假如你的答案與上述之重點相似，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述之重點相似，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 6 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 15 頁上的錯誤改正，然後翻到第 17 頁。

恭喜你，如今你能正確的說出球墨鑄鐵之規格及其化學成分內容。  
本教材的第二部分是要你能夠說出球墨鑄鐵的熔解製程及處理要領。

本教材的第二個學習目標是

在沒有參考資料或書籍下，你能夠正確的說出球墨鑄鐵的熔解製程及處理要領。

## 一、熔解製程管制

生產球墨鑄鐵品質要求高，因此必須做好各項製程管理，例如：熔解製程的材料選用，成分分析，投料比率，成份檢測，溫度控制等其管理都必須有規範，詳細紀錄，作為以後追蹤品質之用。各項管制要領如下：

### (一)進貨檢驗

應建立所有生產球墨鑄鐵的材料要求與規範，所有材料供應商應能提供包括成份、尺寸和包裝等證明文件，所有材料應經外觀檢查是否有容器損壞、受污染和符合規範。

如果銷售證明文件有疑問或材料正常的變化會造成生產製程不一致時，應對材料進行化學和物理測試。

如果鑄造廠不只生產球墨鑄鐵時，應儘量使各種回爐料分開，如果灰口鑄鐵的澆冒口或回爐料混入球墨鑄鐵，可能造成鐵水的硫含量增加而造成其他嚴重的問題，回爐料或澆冒口應以進料看待，使用時應儘量維持與原始鐵水的成份一致。

### (二)熔解爐投料

如果要生產高品質球墨鑄鐵件，所有的投料應根據原始鐵水成份計算稱重投入。

### (三)原始鐵水成份

原始鐵水(鐵水在球化和接種處理前)的化學成份應仔細控制碳、矽和硫含量，每爐次可使用 CE meter (碳當量) 進行快速的碳和矽含量測定，硫含量可使用分光分析儀分析(也可同時分析碳含量，除了碳、矽和硫含量也可同時分析有害元素的含量)。

### (四)原始鐵水溫度控制

原始鐵水處理溫度對於生產高品質球墨鑄鐵時相當重要，處理溫度範圍控制澆注溫度範圍，會影響硬度和鑄件尺寸變化，高處理溫度會降低鎂回收率，然而如低處理溫度產生過高的鎂回收率，可能造成碳化物、針孔、浮渣和滯流，應建立各影響變數的平衡關係以得到最佳的處理溫度範圍。

### (五)稱重

要處理鐵水應先稱重，這在球墨鑄鐵的生產是相當重要的步驟，由於原始鐵水過量造成球化不足會產生很差的球化率，而如原始鐵水相對於球化劑處理量不足時，可能造成過度球化而產生碳化物針孔、浮渣和滯流。

## (六)金相分析

在澆鑄最後取樣的鐵水澆鑄標準試片，分析其顯微組織，以確保退化最嚴重的鐵水仍能生產可接受的鑄件，如果此試片無法符合要求，應由鑄件取樣確認鑄件是否合格，如果試片在及格邊緣，由最後澆鑄砂模取樣即已足以決定那個鑄件受到影響，所有球化率不合規範的鑄件應由正常的生產流程取出並捨棄。

## 二、球化處理法認識及選用

### (一)常見之球化處理方法：

#### 1.直沖法（Open Ladle or Pour Over Method）

此方法仍舊廣為使用，其優點在於處理方便，但是鎂（Mg）回收率很低（僅約 20—30%），且造成很激烈之火光及煙霧。如圖 8

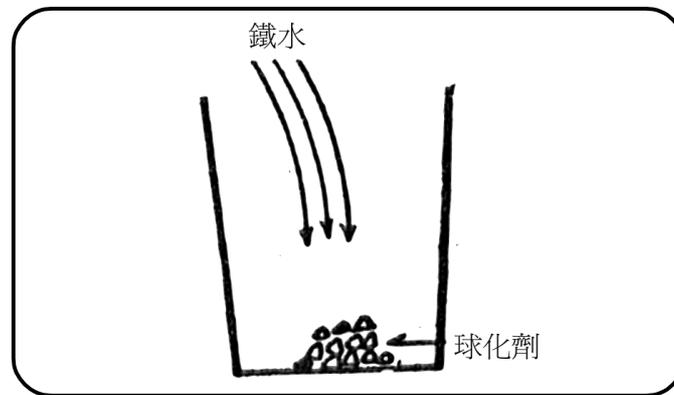


圖 8 開放澆斗直沖式處理法

#### 2.三明治法（Sandwich Method）

處理方法：本法係上述方法之改良，其澆桶設計如圖 9 所示，在澆桶底部隔出一空間，可裝填球化劑，並覆蓋以鋼片。

優點：改善鎂（Mg）回收率（40—50%），且處理簡易，渣量較多。

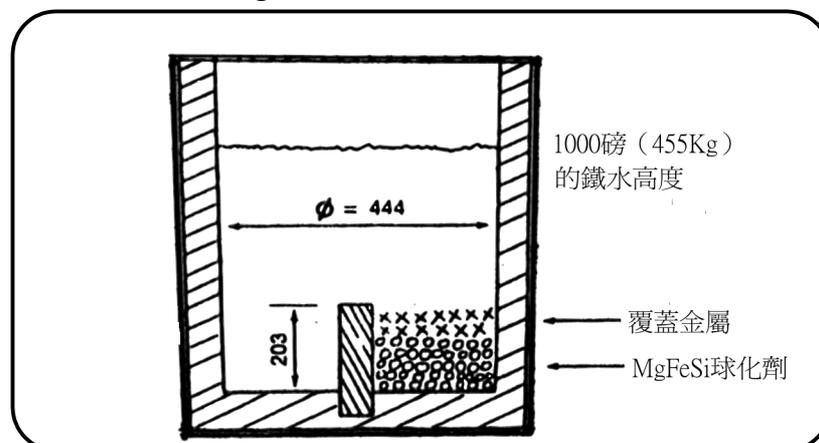


圖 9 三明治處理法

### 3. 餵槽蓋法 (Covered Tundish Ladle Method)

處理方法：本方法係由 QIT 所開發，基本上係三明治法再加上一經特殊設計之澆桶蓋 (tundish cover)，其包含一球化劑入口及澆注口，如圖 10 所示。

優點：(1)可大幅減少球化處理之火光及煙霧。

(2)可提昇 Mg 回收率至 60%以上 (因避免熔液與大氣接觸)。

(3)減少熔液降溫、碳燒失及渣量。

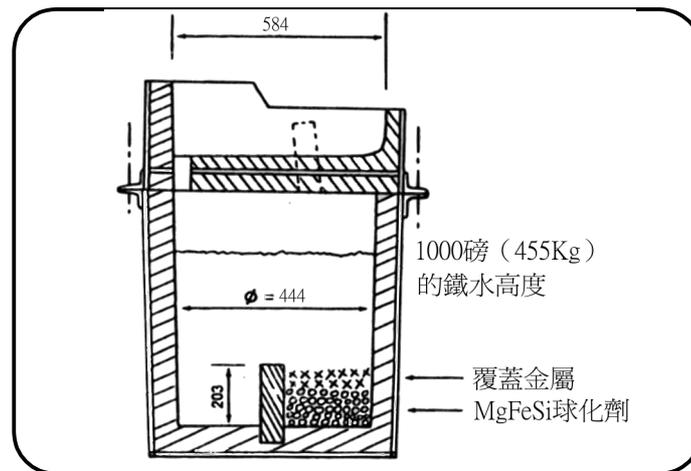


圖 10 餵槽蓋處理法

### 4. 轉爐處理 (Converter Process)

處理方法：本方法係由瑞典 Georg Fischer 公司所開發，如圖 11 所示。

將熔液倒入一可旋轉之密閉爐體，該爐體內設置一可裝球化劑 (純鎂) 之容室。藉著爐體之旋轉，而順序進行球化劑裝填、熔液充注、球化處理及澆鑄。

優點：(1)以純鎂處理不僅可降低成本，且熔液較乾淨。

(2)以純鎂處理可使用含矽量較高之配料。

(3)減少熔液之轉移次數，可避免過度之降溫及退化。

(4)回收率顯著提昇，約 60—70%。

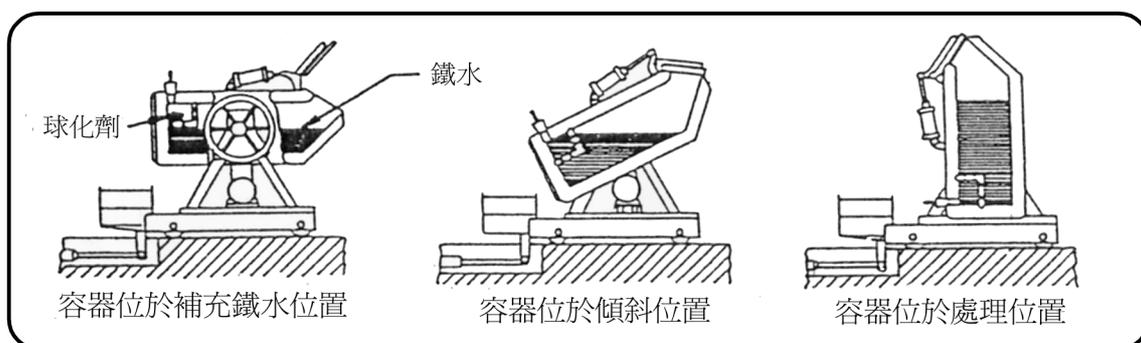


圖 11 旋轉爐處理法的草圖

### 5. 模內處理

處理方法：本法係由 Pickands Mather & Co 所開發，其球化處理係在模內之反應室進行。此方法牽涉到冶金參數之控制（如  $S < 0.010\%$ ），流路系統之設計及反應室之設計等較高技術層次之問題。（圖 12）

- 優點：(1) 可使用較少量之球化劑，且無退化之問題，Mg 回收率可達 90%。  
 (2) 球化處理在模內發生，不會有火光及煙霧之情形，且溫降小。  
 (3) 所得到之球墨尺寸稍小，但數目多，可改善機械性質。  
 (4) 整個處理程序可以自動化。

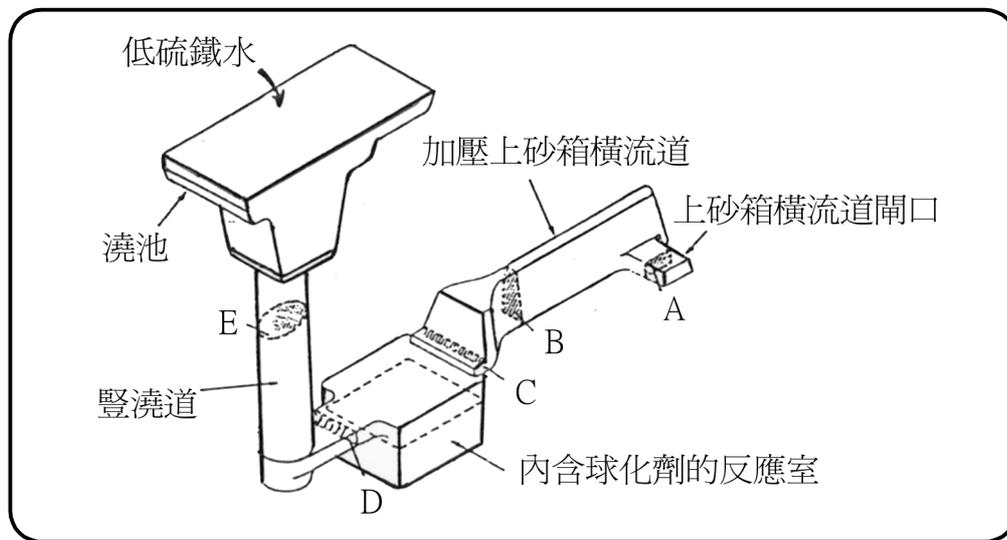


圖 12 典型的模內球化處理法

(二) 選擇球化處理法時考慮的因素有：

1. 原始鐵水熔解設備的型式和可使用的原材料會決定原始鐵水中的硫和矽含量，可先排除某處理法和材料。
2. 澆鑄鑄件的型式，薄鑄件需要較高的澆注溫度，必須使用可快速處理的球化法。
3. 處理時間，必須由處理時間和處理後保持時間考慮處理批量的限制。
4. 簡單性，缺乏熟練人員和良好的設備也會影響球化處理方法的選擇。
5. 機械化可行性，有些處理法很容易機械化而節省勞工。
6. 再現性，有些處理法的變化較大，而無法符合一些品質管制。
7. 工廠配置限制，工廠配置和廠房設計可能無法使用某些處理法。
8. 是否要接種，球化後行接種時需要澆斗轉澆，因此限制只可使用某些處理法。
9. 環境考慮，不同的方法其產生的煙霧和火光差異相當大。
10. 成本，雖然成本對所有鑄造廠都很重要，但對大量生產的鑄造廠特別重要，某些方法可使用低成本球化劑。

### 三、球化處理

球化處理是在澆桶內加入和氧、硫有強力親和作用的球化劑如鎂或稀土合金，（Mg-Cu，Mg-Ni，Mg-Si-Fe，Ce-La，Ca-Si等）將鐵水除氧脫硫，使鐵水凝固時，石墨可以球化成球狀石墨。討論促成石墨球狀化原因，有甚多學者提出各種理論，經由卡塞博士（Karsay）之整理後，歸納為七種：(1)石墨之形狀由其核來決定(2)石墨的形狀是由成長的石墨樹枝狀結晶之分枝頻率而定(3)球體形狀是由於如甘藍菜葉成長的結果(4)球面表現最小之表面能(5)球體形狀是由於固態鐵中石墨成長之結果(6)當凝固狀態組織都是碳化物且於冷卻時碳化物分解所形成球墨形狀(7)相界或氣泡原理。

#### (一)鎂的球化反應

鎂之消失率隨著保溫溫度之升高（ $\sim 1510^{\circ}\text{C}$ ）而增加，亦隨球化處理後鐵水之最初鎂含量（0.01~0.06%Mg）之增高而增加。將氫氣於處理過的鐵水表面，可使鎂之消失率減低。

Janowak 及 Loper 二氏於其報告中，更進一步指出鐵水保溫時間對球墨鑄鐵金相組織結構之影響。他們觀察到球墨數目減少，雪明碳鐵含量增加，並在鎂當量低於 0.0224%時，球墨之形狀才改變。兩位學者將消失的原因歸之於揮發及化學反應之故。

球化處理過之鐵水在保溫時間中，鐵水中鎂含量不斷地消失，因此，球化接種後之鐵水，應馬上澆鑄完畢，否則球狀石墨組織會因放置時間之延長而漸次崩潰惡化。球化接種之鐵水，在 15 分鐘內，尚可維持大部份之球化效果。

在球化處理時，鎂與鐵水中之硫化合生成硫化鎂，硫化鎂的可逆反應如下：

$\text{Mg} + \text{S} \longleftrightarrow \text{MgS}$ ，此反應當鐵水中之鎂與硫低於某一臨界值，硫化鎂即分解，在硫化鎂分解時，鎂的含量不僅需視硫的成份，亦要由當時其他相與鎂反應的情況而定。然而硫化鎂會分解時，鎂的含量都在 0.05~0.02%的範圍內。硫化鎂的分解會使鐵水中含硫量提高。

由硫化鎂分解所得的鎂，由於其揮發性，很快就消失於空氣中，（因鎂密度低，及含有硫化鎂之熔渣均在鐵水表面與空氣接觸）或與別的溶渣，或耐火材料等再反應而失去功效。

## 1. Mg 的化學性質

沸點：1107°C 熔點：659°C （熔液溫度：約 1500°C）

密度：1.74g/cm<sup>3</sup> （鑄鐵：7.0g/cm<sup>3</sup>）

固溶度：極低

化學反應性：極強

## 2. Mg 之球化機構

### (1) 除硫作用



（除去一單位重量的 S 需要 0.76 單位重量的 Mg）

S：雖被視為一有害元素，但其含量控制卻很重要。S 含量太高或太低均會有不良的結果。對於任一種鑄鐵都有其最適當的含量。

當 S < 0.005%

(a) 球化率不佳。

(b) 碳化物析出傾向增加。

（主要原因是 MgS（CeS）可作為石墨結晶的核心）

當 S > 0.03%

(a) 需要較多量之球化劑。

(b) 產生較多量之熔渣。

最佳的 S 含量範圍：0.008~0.02%

### (2) 氧化反應

一般而言，固溶在熔液之氧量極微，但熔液中之 Mg 仍會發生氧化反應。



#### 四、球化劑

矽基鎂合金為我國在生產球墨鑄鐵最常使用的球化劑，最常使用的矽基鎂合金為鎂矽鐵（MgFeSi），在生產球墨鑄鐵使用的MgFeSi的成分有非常多種。最好與供應商討論適合鑄造廠使用的成分。表4為典型的MgFeSi球化劑成份，在設計MgFeSi時的重要元素為鎂、鈣、鋁、鈰和總稀土，和矽對已知應用或處理方法，再選擇MgFeSi球化劑時應考慮各種元素。低鎂球化劑者，一般的鎂回收率較高，如圖13所示。

表4 鎂矽鐵球化劑

符 號	典 型 成 份 %*						一般尺寸
	Si	Mg	Ce	TRE**	Ca	Al	
5	43-48	5-6.5	—	—	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(0.3Ce)	43-48	5-6.5	0.25-0.40	—	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(0.3Ce)	43-48	5-6.5	0.50-0.75	—	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(1.0Ce)	43-48	5-6.5	0.95-1.20	—	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(0.5TRE)	43-48	5-6.5	0.30-0.45	0.50-0.75	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(1.0TRE)	43-48	5-6.5	0.45-0.60	0.75-1.10	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(1.75TRE)	43-48	5-6.5	0.85-1.0	1.5-2.0	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
5(high Ca)	43-48	5-6.5	0.3-0.6	0.6-1.0	1.5-2.25	1.20 最高	1in×8M
9	43-48	8.5-10.0	—	—	0.8-1.5	1.20 最高	1.25×0.25in.
9(Ce)	43-48	8.5-10.0	0.5-0.75	—	0.8-1.5	1.20 最高	1.25×0.25in.
9(TRE)	43-48	8.5-10.0	0.35-0.50	0.60-1.0	0.8-1.5	1.20 最高	1.25×0.25in.
3	43-48	3.0-4.0	—	—	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
3(TRE)	43-48	3.0-4.0	—	1.50-2.0	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
3(Ce)	43-48	3.0-4.0	1.50-2.5	—	0.8-1.3	1.20 最高	1.25×0.25in.
In-the-Mold	43-48	5.5-6.5	0.3-0.5	0.35-0.60	0.35-0.60	1.20 最高	5×18M
Flow-Through	43-48	3.0-4.0	—	1.5-2.0	0.8-1.3	1.20 最高	3/8in.×12M

\* 由成份可看出規格的範圍相當大，生產者間也會有所差異

\*\* 總稀土(TRE)含量為計算值

在一般商用球墨鑄鐵之鎂含量為0.03~0.05%，如前面所述，經球化處理之鐵水其鎂含量會隨時間而減少，當鎂含量（鎂當量% = %鎂 - 3/4%硫）低於0.0224%球墨將會改變形狀。當浮在鐵水上面的硫化鎂由於分解成鎂及硫時，

而使鎂揮發，而硫卻保留在鐵水中；或硫化鎂和氧化和形成氧化鎂，而硫又回到復到鐵水中與鎂作用，如此重複著使鎂漸漸減少而使球墨變形謂之球化效果的退化，簡稱退化，一般控制退化常用的方法是使球化處理後到澆注的時間縮短。

要有效且經濟的製造球墨鑄鐵的鐵水，最好使硫含量在0.02%以下，即可達到球化效果，同時，鎂會隨時間消失，致使真正用來球化鐵水的鎂量就更少了。有一個關係式，可以用來評估鎂的效益，即鎂回收率 (magnesium recovery) 其定義如下：

$$\text{鎂回收率 (\%)} = \frac{\% \text{鑄件中鎂含量}}{\% \text{添加鎂含量} - \% \text{鐵水 中含硫量}} \times 100 \%$$

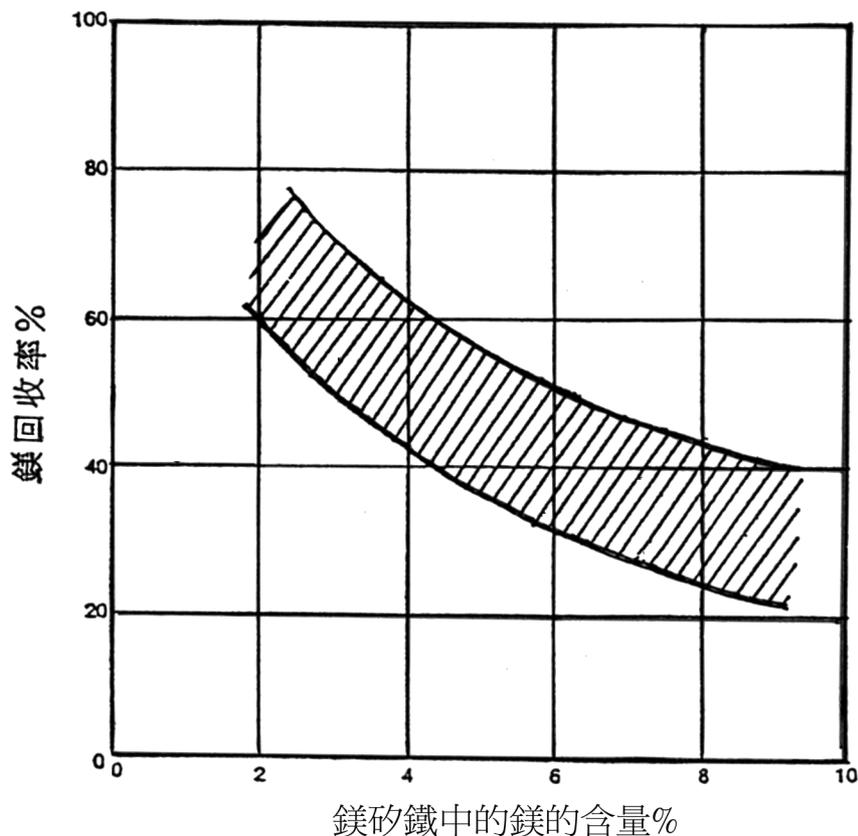


圖 13 鎂回收率為球化劑中鎂含量的函數

## 五、接種方法

接種時效通常是在鐵水倒入球化處理桶時，將接種劑加入鐵水流中，接種劑加入的時機是鐵水出了三分之一後。

另一種接種方法是將接種劑放置在下澆道內，當鐵水經過而流入模穴時，與接種劑接觸而有了接種效果。

接種劑的顆粒大小是很重要的一項因素，必須均勻一致，而大小也要適中。太大的顆粒可能無法在鐵水中熔化完全；太小的顆粒則完易熔化，時間太短，適當的尺寸在2mm至10mm之間。

### 接種劑

高矽含量的接種劑可用於澆斗或瞬間接種，基本上為含45~75%矽的矽鐵合金，所有的矽鐵接種劑含有一種以上的微量元素—包括鋁、鈣、鋇、鋇、鎂、鋅、銻或其他元素—以強化接種效果。最常用的矽鐵接種劑為含有75%的矽、0.5~1.25%鋁和0.6~1.0%鈣。

## 六、熔解溫度與保溫時間

在感應電爐熔解鑄鐵的溫度，若超過1550°C以上，鐵水幾乎是被炸過的，核已遭破壞，不可能會有低的楔形值。因此超過正常熔解溫度以上者，已明顯降低了金屬液的成核性。成核性已喪失了，鐵水品質變換了，雖然化學成份是符合規定的。在熔解昇溫的過程中，若有100°C左右的溫度差別，就有能使白口深度由可接受程度轉變為全白口，雖較多的接種量想去補救成核性，但亦可能無法完全能滿意，故熔解與保持溫度應儘量偏低為宜。

再以球化溫度來說，球化溫度越高，則球化劑在球化過程中因處理溫度高溫，揮發量勢必增多，往往在最後完成鑄件澆注後，殘留在鑄件上的鎂含量所剩不多，而導致球化退化不良的問題。

保溫時間對成核性之影響與過熱熔解溫度情況相似，任何溫度的長時間保溫會喪失成核性，且溫度越高越不好，其都會使凝固的現象失常，易造成收縮，易行成碳化物，因成核性已消失。此時的作法以添加新鮮的鐵材生鐵或加入成核劑來彌補所生產的高楔形值，儘量改善鐵水品質。

## 學習評量二

請不要參閱資料或書籍，在下列各題之空格寫出正確答案

### 一、是非題

- ( ) 1. 鎂 Mg 可以除去硫 S 成爲 MgS，因此鐵水中硫 (S) 含量最好在 0.06% 以上。
- ( ) 2. 鎂的熔點溫度超過 1000°C。
- ( ) 3. 球化處理方法，以三明治法處理較簡易，鎂 Mg 回收率在 40~50%，適合做多種少量，大小不同的鑄件。
- ( ) 4. 模內處理法，牽涉到流路系統之設計及反應爐之設計等，屬於較高層次技術之方法。
- ( ) 5. 殘留鎂 Mg 量多寡與澆注之時間長短無關。
- ( ) 6. 球化處理，會促成碳化物產生，所以應適當的添加矽含量或接種劑做接種處理。

### 二、選擇題

- ( ) 1. 下列那一項不是影響鎂 Mg 回收率之因素？(1)球化處理方法。(2)碳及矽的含量。(3)球化劑之鎂含量，RE 含量、顆粒大小。(4)溶液中硫之含量。
- ( ) 2. 餵槽蓋處理法的優點，下面哪一項爲非？(1)可大幅減少球化處理之火光及煙霧。(2)可提升鎂回收率至 60%。(3)可延長澆注時間 15 分鐘以上。(4)減少熔液降溫，碳燒失及渣量。
- ( ) 3. 使用純鎂的球化劑做球化處理，是哪一種方法？(1)三明治法。(2)模內處理法。(3)覆蓋澆斗處理法。(4)轉爐處理法。
- ( ) 4. 下面那一項不是球墨鑄鐵接種處理的目的？(1)提高球墨數量。(2)降低碳化物析出傾向及偏析程度。(3)促進石墨析出。(4)解決組織粗鬆。

### 學習評量二解答

#### 一、是非題

1. (×) 硫含量範圍：0.008~0.02%。
2. (×) 鎂的熔點 659°C。
3. (○)
4. (○)
5. (×) 球化處理至澆鑄之滯留時間，最好在 15 分鐘以內，否則殘留鎂逐漸消失，球化衰退。
6. (○)

#### 二、選擇題

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

好極了，如今你已能正確地說出球墨鑄鐵的熔解製程處理要領，接下來進行實作，即本教材的第三部份，是要你能夠正確地完成球墨鑄鐵成份測定、調質、溫度測定、球化處理、接種及澆鑄工作。

本教材的第三個學習目標是

給你一份球墨鑄鐵的規格表，在無人教導下，你能夠正確地完成球墨鑄鐵的成份測定、調質、溫度測定、球化處理、接種及澆鑄工作。

在你實際操作完成球墨鑄鐵的成份測定、調質、溫度測定、球化處理、接種及澆鑄工作之前，你必須熟悉球墨鑄鐵的成份測定、調質、溫度測定、球化處理、接種及澆鑄工作之方法與操作程序。現在請你到工具室管理員處借編號 PMF-IFM0506 的電視錄影片〈若無錄影片，則由老師示範〉然後在教學區找一部錄影放映機與電視學習操作程序，並參照閱讀以下之操作步驟。

完成球墨鑄鐵的成份測定、調質、溫度測定、球化處理、接種及澆鑄工作之操作步驟。

舉一個以生產 FCD450 球墨鑄鐵為例子

## 一、鑄件規格及目標成份

(一)規格：FCD450

(二)目標成份：

碳 Tc	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S
3.65~3.90%	2.80~3.00%	0.20~0.25%	0.06%以下	0.02%以下

(三)球化率及球墨數

1.球化率 75%以上

(四)處理前鐵水溶液中矽 (Si) 之目標成份

1.球化劑用量比率 1.6%，球化劑內矽 (Si) 含量 45%，增加量為  
 $1.6\% \times 0.45 = 0.72\%$

2.接種劑用量比率 0.3%，接種劑內矽 (Si) 含量 75%，增加量為  
 $0.3\% \times 0.75 = 0.23\%$

3.設定處理前矽 (Si) 成份範圍 1.9~2.05%

(五)碳成份在球化過程中會損失，因此處理前碳成份設定值以 3.80~3.90%。

## 二、熔煉

(一)低週波爐容量 2000kg

(二)初步以經驗目視鐵水顏色判別，升溫大約至 1300°C 左右 (或用測溫計來測溫)

## 三、測定成份

(一)裝置碳當量測定儀壳模澆鑄杯。

(二)鐵水取樣，測定碳當量，如圖 14 及分光儀測定值表 5。

(三)碳當量測定值顯示，如圖 15。



圖 14 鐵水取樣，測定碳當量及澆鑄分光儀試片

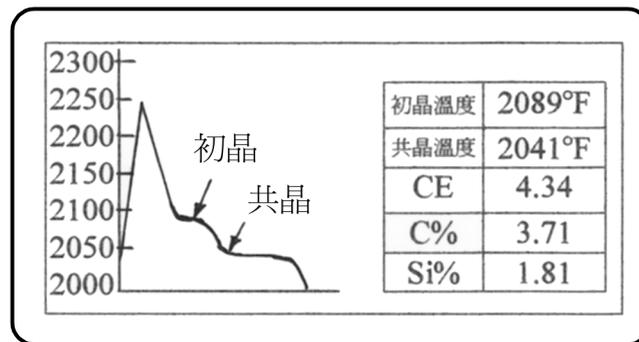


圖 15 碳當量測定值

AG-No : FC	ST-No. :					
	FE	C	SI	MN2	P	S
N=1	.37230	3.7589	1.8365	.10069	.05121	.01190
N=2	.36860	3.6616	1.8226	.09202	.04887	.01307
AVE	.37045	3.7102	1.8295	.09635	.05004	.01249
	MO	MG	V	CU	SN	CR1
N=1	.01053	.00232	.01977	.03182	.00960	.04159
N=2	.01000	.00233	.01906	.03067	.00914	.04114
AVE	.01026	.00233	.01941	.03125	.00937	.04136

表 5 分光儀測定值

## 四、調整成份

(一)處理前鐵水溶液的目標成份範圍：

碳 C%	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S
3.80~3.90	1.90~2.05	0.20~0.25	<0.06	<0.02

(二)元素含量比率或熔解步留率：

C : 92%    Si : 75%    Mn : 61.3%

(三)元素添加

C : 4.1kg    Si : 6.4kg    Mn : 4.1kg

(四)再測定

1.碳當量測定值 (圖 16)



圖 16 碳當量測定值

2.分光儀測定值：表 6

AG-No : FC	ST-No. :					
FE	C	SI	MN2	P	S	
N=1	.28960	3.8284	1.8961	.21942	.05423	.00975
N=2	.30600	3.8489	2.0066	.22354	.05887	.01341
AVE	.29780	3.8387	1.9513	.22148	.05655	.01158R
MO	MG	V	CU	SN	NI 1	
N=1	.01366	.00299	.01307	.05095	.00713	0.2714
N=2	.01308	.00280	.01312	.05087	.00697	.02517
AVE	.01337	.00290	.01310	.05091	.00705	.02615

表 6 分光儀測定值

(五)判定符合目標成份。

## 五、球化盆及澆盆預熱

- (一)500kg 三明治法的球化桶（高度較高者）及澆桶，如圖照片17
- (二)將鐵水倒入球化桶及澆桶各約 500kg，放置約 2~3 分鐘預熱，完成後，再把鐵水倒回爐內。
- (三)100kg 的澆桶，以柴油燃料，使用噴嘴式燃燒加溫，保持烘熱狀態。  
如圖 18



圖 17 球化桶及澆桶



圖 18 100kg 澆桶預熱

## 六、出場溫度測定

- (一)使用浸入式測溫計測定出湯溫度。如圖19
- (二)溫度範圍：1480~1520℃。如圖20所示，測定溫度1518℃。
- (三)判定出湯溫度符合規定。



圖 19 使用浸入式測溫計測定出湯溫度



圖 20 出湯溫度 1518℃

## 七、球化處理

### (一)裝置球化劑

- 1.球化劑規格：鎂含量 4.5~5.5%。如圖片 21
- 2.用量比率：1.6%，則用量為  $400\text{kg} \times 0.016 = 6.4\text{kg}$ （處理量 400kg）
- 3.放置球化劑在球化桶的合金坑內，並且需鋪平。如圖片 22。



圖 21 鎂含量 4.5~5.5%之球化劑



圖 22 球化劑放入球化桶的合金坑內

(二)在球化劑上覆蓋細、薄的矽鋼片，重量與球化劑的量相同，需鋪平，其用途是希望延緩球化反應，使鐵水裝入有一定的數量時，球化劑上面的矽鋼片熔化後，才接觸到球化劑。如圖 23。



圖 23 球化劑上覆蓋細、薄的矽鋼片

(三)球化反應

- 1.使用移動式吊車，鉤上吊磅，再吊起球化桶，吊磅數目歸零。移動球化桶至電爐的出鐵水口。如圖 24，而出鐵水時鐵水流避免直接沖到球化劑位置不使立即反應。如圖 25。
- 2.迅速出鐵水至吊磅數目顯示為 400kg，能使鐵水全部球化完整，殘留鎂量會較多，球化效果較佳，產生之煙霧也較少。
- 3.用目視觀測其現象，需等到白色煙霧已消失，表示球化劑已全部熔化，鎂已完全反應完成。如圖片 26。



圖 24 出鐵水情形

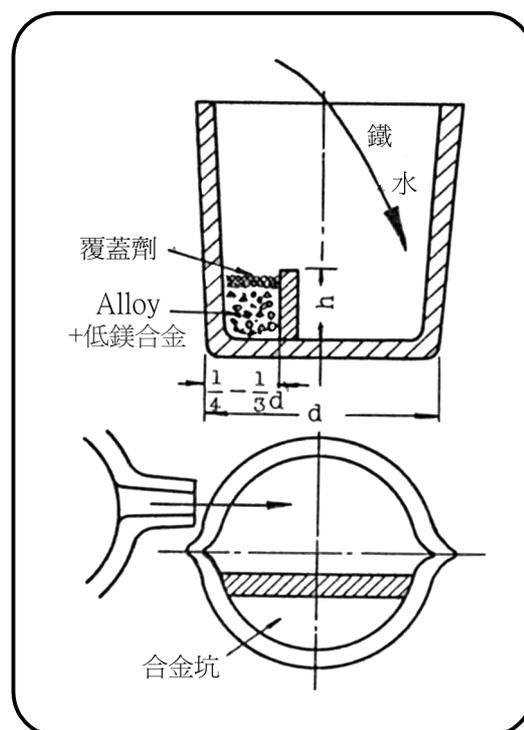


圖 25 鐵水流入球化桶位置



圖 26 球化劑反應情形

## 八、接種處理

- (一)接種劑含矽量 75%。如圖片 27。
- (二)使用比率：0.3%
- (三)接種劑的使用時機：在球化盒的鐵水倒入澆桶鐵水量有 1/3 時，才投入接種劑，靠著衝力，增加其攪拌，使其能充分混合，接種效果最好。如圖片 28。



圖 27 接種劑使用量磅秤



圖 28 接種劑投入澆盆的情形

## 九、除渣

- (一)除渣劑撒在鐵水表面，其渣迅速與之反應，黏在一起。如圖片 29。
- (二)使用人工，利用鐵棒、迅速除渣，若沒有清除乾淨，應再撒一次，重複除渣。如圖片 30。



圖 29 使用除渣劑情形



圖 30 除渣

### 十、球化處理後的檢測

- (一)球化率測定，將 CE 值畫面改為球化率畫面（熔湯管理機各廠牌不同，操作可依其規定）。
- (二)使用專用的球化澆鑄杯。
- (三)鐵水取樣，如圖片 31 所示澆鑄球化率澆鑄杯及分光儀試片。
- (四)球化率畫面，如圖片 32。



圖 31 鐵水取樣，檢測球化率及分光分析



圖 32 球化率畫面

(五)澆鑄 Y 型 BLOCK 試片如圖 33。冷卻後的 Y 型 BLOCK 試片可做金相分析及拉伸試驗。如圖 34



圖 33 澆鑄 Y 型 BLOCK 試片

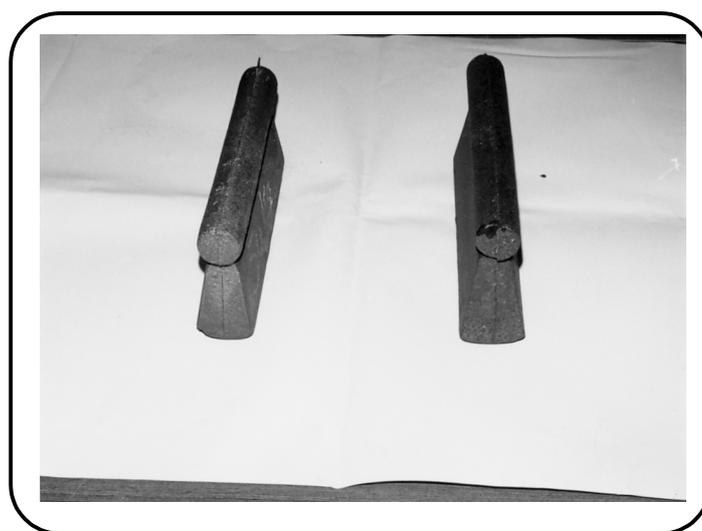


圖 34 Y 型 BLOCK 試片

## (六)分光儀成份分析

1. 研磨磨菇型分光分析用試片。如圖 35。
2. 成份顯示。如圖表 7。
3. 對照目標成份，符合(1)目標成份。(2)鎂含量。

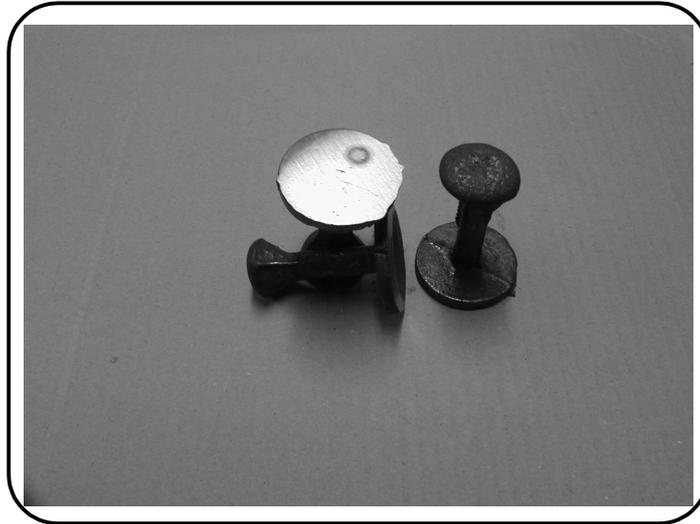


圖 35 磨菇型分光分析用試片

AG-No : FCD		ST-No :						
	FE	C	SI	MN2	P	S	NI1	CR1
N=1	.31930	3.7279	2.9034	.20869	.03457	.01554	.00937	.01433
N=2	.33030	3.7405	2.9045	.21944	.03288	.00981	.00757	.01317
AVE	.32480	3.7342	2.9040	.21407	.03372	.01268R	.00847R	0.1375
	MG	MO	SN	CU	V			
N=1	.04744	.00149	.00000	.02270	.00329			
N=2	.04278	.00128	.00000	.02100	.00161			
AVE	.04511R	.00139R	.00000	.02185	.00245R			

表 7 分光儀測定值

## 十一、澆鑄

(一)在球化處理後 12 分鐘內澆鑄完成，避免殘留鎂含量消失，使球墨退化。如圖 36。

(二)薄的鑄件，可考慮二次接種，促進石墨成長，延長球化效果，使用量為 0.1%。如圖片 37。



圖 36 澆鑄砂模



圖 37 二次接種

現在你已熟悉完成球墨鑄鐵成份測定，調質，溫度測定，球化處理接種及澆鑄工作的方法與操作步驟，假如你未完全熟悉，請重覆學習編號FMF-IFM0506及第30頁到第43頁直到熟悉為止，若有困難去請教你的老師，若完全熟悉後，將編號PMF-IFM0506歸還工具管理員，並向工具管理員領取所需的工具、材料（依工具所列要求），然後去找領班說明你的學習目標，依據下列工作指示及目標成份進行練習操作成份測定，調質，溫度測定，球化處理，接種及澆鑄工作。若有困難去請教你的老師或重讀第30頁至第43頁之步驟。

當你認為自己已經熟練後，請你進行第46頁的學習評量，並依據自我評量表做自我評量，如果你對自我評量的結果不滿意，你可再多練習，直到你能勝任本學習目標為止。

### 工作指示

請你依照球墨鑄鐵的球化處理之方法及操作步驟，練習完成100kg鐵水的成份測定，調質，溫度測定，球化處理、接種及澆鑄工作

一、目標成份				
碳 TC	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S
3.55~3.75%	2.55~2.75%	0.30~0.35%	<0.06%	<0.02%
二、球化處理後鎂的含量				
鎂 Mg0.035~0.055%				

### 檢測設備及工具

項次	名稱	單位	數量	規格	備註
1	碳當量測定儀	台	1		
2	分光儀設備	台	1		
3	測溫器	套	1		
4	吊磅	台	1	1 \$	
5	磅秤	台	1	20kg	
6	分光儀試片鑄模組	組	1		
7	Y 型 BLOCK 鑄模	組	1		
8	鐵棒	支	1	Ømm 10~12×1.5M	
9	夾子	支	1	300mm	

## 材料及物料

名稱	說明	規格	數量	估價
原料銑	球墨鑄鐵用	含碳 4.2%，矽 0.1%	30kg	
	用料比率 30%	含錳 0.01%，硫 0.015%		
軟鋼材料	用料比率 40%	含碳 0.2%，矽 0.2%	40kg	
		含錳 0.15%		
回爐料	球墨鑄鐵	含碳 3.8%，矽 2.9%	30kg	
	用料比率 30%	含錳 0.2%		
加碳劑	成份調整用	含碳 92%	3kg	
矽鐵	成份調整用	含矽 75%	3kg	
錳鐵	成份調整用	含錳 65%	1kg	
矽鋼片	覆蓋用	10mm×20mm×0.5 <sup>t</sup>	2kg	
球化劑	球化處理用	含鎂量 4.5~5.5%	2kg	
		含矽 45%		
接種劑	鑄鐵用	含矽 75%	0.3kg	
除渣劑	鑄鐵用		0.2kg	

## 學習評量三

請完成以下指示的工作，並依據自我評量，檢查自己的工作成果。

## 工作指示

請你依照球墨鑄鐵的球化處理方法及操作步驟，完成100kg鐵水的成份測定，調質，溫度測定、球化處理、接種及澆鑄工作。

一、目標成份				
碳 TC	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S
3.50~3.70%	2.60~2.80%	0.25~0.30%	<0.06%	<0.02%
二、球化處理後鎂的含量				
鎂 Mg0.035~0.055%				

自我評量表：通過者打（✓），不通過者打（×）

- |  |
|--|
| <p>( ) 1.安全習慣：工作中有無不當操作而受傷。</p> <p>( ) 2.設備及工具使用規則：設備及工具有無不當操作而損壞。</p> <p>3.結果</p> <p>( ) (1)目標成份是否正確。</p> <p>( ) (2)鎂的含量是否正確。</p> |
|--|

評分標準：你必須達到每個項目都是（✓），才算合格。如果有一個（×）代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續練習下個學習目標。

## 學後評量

一、筆試：請不要參閱資料或書籍，請寫出正確答案

(一)是非題 (30%)

- ( ) 1.在球化盆內球化劑上覆蓋細的矽鋼片，其用途在於不使鐵水直接沖到球化劑，不使立即球化反應。
- ( ) 2.生產薄鑄件（10m/m 以下）球化處理後，因矽含量較高，可以不需做接種處理。
- ( ) 3.球化處理前硫（S）含量應在 0.06%以下。
- ( ) 4.球化處理時，鐵水溫度愈高，其球化率會愈高。
- ( ) 5.球化處理後 20 分鐘經過再次的接種處理後，可以繼續澆鑄。
- ( ) 6.用金相顯微組織分析，可做為判定球化率之用。

(二)選擇題 (30%)

- ( ) 1.鑄態球墨鑄鐵中，以基地不同分類下，伸長率最大的是 (1)波來體組織 (2)肥粒體加波來體組織 (3)肥粒體組織 (4)沃斯田體組織。
- ( ) 2.下列元素中那一項不是球墨鑄鐵的主要元素 (1)碳 (2)矽 (3)硫 (4)銅。
- ( ) 3.下列元素中那一項是球化元素 (1)碳 (2)矽 (3)鎂 (4)硫。
- ( ) 4.在生產肥粒體球墨鑄鐵薄鑄件中，鐵水中錳的含量應為 (1)0.25%以下 (2)0.5%以上 (3)0.7%以上 (4)1.0%以上。
- ( ) 5.用分光儀分析，檢測，球化處理後，鎂的殘留量應在 (1)0.02%以下 (2)0.035~0.055% (3)0.065%以上 (4)0.085%以上。
- ( ) 6.若鐵水成份中矽（Si）含量在 2.05%使用 1.6%比率的球化劑及 0.3%比率的接種劑，經過球化處理及接種處理以後，矽（Si）的含量應在下列那個範圍內 (1)2.5%以下 (2)2.85~3.0% (3)3.2~3.5% (4)3.6~3.8%。

## 二、實作測驗 (40%)

請你到工具室管理員處領取操作球化處理所需之工具及材料，然後依下列之指示操作球化處理。在工作之前，請你先填好工作計劃，並送給老師認可。

### 工作指示

請你依照球墨鑄鐵的球化處理之方法及操作步驟，完成100kg鐵水的成份測定、調質、溫度測定、球化處理，接種及澆鑄工作。

#### 一、目標成份

碳 TC	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S
3.45~3.65%	2.50~2.70%	0.35~0.40%	<0.06%	<0.02%

#### 二、球化處理後鎂的含量

鎂 Mg 0.035~0.055%

我的工作計劃

作業名稱：\_\_\_\_\_

工作開始日期：\_\_\_\_\_ 完成日期：\_\_\_\_\_

工作時間：\_\_\_\_\_小時 教師認可：\_\_\_\_\_

我製作上列工作時所需用之用具：

1 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_ 11 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_ 12 \_\_\_\_\_

我所需要的材料及消耗品

名稱	說明	規格	數量	估價



## 學生自我評量

### 一、我對我學後評量之評分

(一)筆試：是非與選擇每題5%共60%總得分\_\_\_\_\_分

(二)實作：自我評量—40%，總得分\_\_\_\_\_分

自我評量表：請在下表評分內容，通過者打(✓)

操 作 項 目	評 分 內 容	得 分
球墨鑄鐵的成份測定，調質，溫度測定，球化處理，接種及澆鑄工作。	( )1.目標成份是否正確 ( )2.鎂含量是否正確	
總得分	/40	

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以下

學後評量評分=筆試+實作=\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等

### 二、我的工作計畫得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

你可依照下列各項自我考量，有一項缺失即扣10分。

- |                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> 是否細心周詳的填列工具設備 | <input type="radio"/> 是否細心周詳的計劃作程序 |
| <input type="radio"/> 是否重視安全事項並適時提示 | <input type="radio"/> 是否再作檢討以求更好方法 |
| <input type="radio"/> 書寫是否清晰整齊      | <input type="radio"/> 老師是否做很多改正    |

### 三、安全習慣得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

你可依照下列各項自我考量，有一項缺失即扣10分。

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <input type="radio"/> 是否戴安全帽、安全眼鏡         | <input type="radio"/> 是否遵守機器操作規則    |
| <input type="radio"/> 是否遵守工具使用規則          | <input type="radio"/> 是注意操作過程各項安全事項 |
| <input type="radio"/> 是否有有造成金屬液飛濺或傾倒之危險情形 |                                     |
| <input type="radio"/> 是否有材料脫落或損壞之情形       |                                     |

### 四、敬業精神與學習態度得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等。

你可依照下列各項自我考量，有一項缺失即扣10分。

- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> 工具排放是否整齊   | <input type="radio"/> 工作環境是否清潔     |
| <input type="radio"/> 操作時是否與他人閒聊 | <input type="radio"/> 工作態度是否積極而有耐心 |
| <input type="radio"/> 是否虛心接受老師指導 | <input type="radio"/> 是否常主動向老師請教問題 |

## 教師評量

## 一、學後評量評分：

(一)筆試得分\_\_\_\_\_

(二)實作得分\_\_\_\_\_

實作評量項目：請在下表評分內容，通過者打(✓)

操 作 項 目	評 分 內 容	得 分
球墨鑄鐵的成份測定，調質， 溫度測定，球化處理，接種及 澆鑄工作。	( )1.目標成份是否正確 ( )2.鎂含量是否正確	
總得分	/40	

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以下

學後評量得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等

二、工作計畫評分

工 作 計 畫 評 量 項 目	分 數					
	優 10	良 8	中 6	可 4	差 2	劣 0
1.使用材料及物料記錄清楚	<input type="checkbox"/>					
2.使用機器及工具之準備	<input type="checkbox"/>					
3.工作次序之前後安排	<input type="checkbox"/>					
4.工作時間長短適宜	<input type="checkbox"/>					
5.未遺漏工作細節	<input type="checkbox"/>					
6.機器設備使用注意事項	<input type="checkbox"/>					
7.工具使用注意事項	<input type="checkbox"/>					
8.工作安全事項	<input type="checkbox"/>					
9.工作前後檢討改進	<input type="checkbox"/>					
10.工作計畫書寫清晰整齊	<input type="checkbox"/>					
實 得 總 分						

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以下

工作計劃得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等

請翻至下一頁。

## 三、安全習慣評分

安全習慣評量表

安全習慣評量項目	是	否
1.使用合於規定的工具，並且保持乾燥	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.工具及材料置於正確位置並擺放整齊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.依規定佩戴個人安全器具	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.啓動設備前檢查防護及運轉部位，異常應即反應	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.獨立操作機器，集中精神，不玩笑嬉鬧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.機器運轉時不擅離工作崗位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.不以任何物品或肢體接觸運轉中的機件	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.工作環境周圍保持整齊、清潔、光線足夠	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.澆鑄後成品分批妥當放置	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.依規定清潔設備及工具	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
實得總分		

※每一項為“是”者得10分，“否”者得0分

A=90分以上      B=80分以上      C=70分以上

D=60分以上      E=60分以下

安全習慣得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等

請翻至下一頁。

五、學習態度評分

學習態度評量表

學習態度評量項目	分 數					
	優 10	良 8	中 6	可 4	差 2	劣 0
1.言行舉止合宜，服裝儀容整齊	<input type="checkbox"/>					
2.準時上、下課，不遲到早退	<input type="checkbox"/>					
3.守秩序，不喧嘩吵鬧	<input type="checkbox"/>					
4.服從教師指導，進行學習	<input type="checkbox"/>					
5.上課專心認真	<input type="checkbox"/>					
6.愛惜教材教具及設備	<input type="checkbox"/>					
7.有疑問時主動要求協助	<input type="checkbox"/>					
8.閱讀教材外的講義及參考資料	<input type="checkbox"/>					
9.參與班級教學的討論活動	<input type="checkbox"/>					
10.將學習內容與工廠環境配合	<input type="checkbox"/>					
實 得 總 分						

A=90 分以上      B=80 分以上      C=70 分以上

D=60 分以上      E=60 分以下

我的學習態度得分\_\_\_\_\_分，屬於\_\_\_\_\_等

## 五、總評量表

評 分 項 目	單項得分	單項等第	比率 (%)	單項分數	總分	等第
1.作業部分			40%			<input type="checkbox"/> A
2.工作計畫			20%			<input type="checkbox"/> B
3.安全習慣			20%			<input type="checkbox"/> C
4.學習態度			20%			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E
總評	<input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格					
備註						

## 參考書目

- 一、卡塞博士原著，球墨鑄鐵手冊 I 鑄造實物，中華民國鑄造學會編印，P47~P69。
- 二、張瑞模，“球化方式的回顧”，鑄造月刊 129 期 2000 年 6 月，P14~18。
- 三、張晉昌教授編著，鑄造學，全華科技圖書股份有限公司印行。P313~P316
- 四、雷添壽教授編著，球墨鑄鐵的熔鑄技術，美達公司講義。
- 五、潘國桐工程師，米漢納技術自我訓練教材，台灣米漢納金屬有限公司。
- 六、陳萬墩經理提供，低週波爐熔解作業範例及現場操作實況，大同公司三峽廠鑄造中心。
- 七、潘永寧教授編著，高強度球墨鑄鐵生產技術講義，P30~P56。
- 八、潘國桐工程師，生產米漢納鑄鐵之品質管制要領 No.23。
- 九、岩田忠男，日本球狀石墨鑄鐵球化處理技術之發展近況，鑄造技術演講會摘要，中華民國鑄造學會。