


第三章 實驗方法及步驟

3-1 實驗配置



本實驗採用開放式三明治處理法來生產縮墨鑄鐵(實驗架構如圖 3-1 所示)。以 CG 合金、KC 合金、稀土元素等三種球化劑來做為本實驗主要球化劑，其中主要控制因素為球化劑含量，其它影響因素如澆鑄溫度、反應溫度、接種劑的含量和碳當量值等，在參考相關文獻後，這三種球化劑各分三組不同含量進行測試，藉由金相顯微組織，找出每種球化劑縮墨率最高的一組，並盡可能保持相同製程參數下生產八個爐次的縮狀石墨鑄鐵，以判斷該球化劑種類之穩定性為何。並探討各種不同球化劑所生產縮狀石墨鑄鐵的機械性質之差異，和分折在兩種不同退火處理冷卻速度下，所得基地組織有無差異，以提供工業界參考使用。

3-2 實驗材料與模型

1. 實驗用合金材料

本實驗所使用之基材為低錳、低硫的生鐵(Pig Iron)並配合廢鋼片(Steel Scrap)、矽鐵(Ferrosilicon)及增碳劑，其化學組成如表 3-1 所示，其中主要添加三種不同種類的球化劑其化學組成如表 3-2 所

示。接種劑化學成份表如表 3-3 所示。

2. 模型材料

本實驗所使用砂模，為一般濕砂模，以手工造模，每一爐次澆鑄二個 Y-block 型塊，其木模幾何形狀為 12 mm 厚 Y-block 如圖 3-2 所示。

3-3 實驗儀器與設備

1. 熔解設備

縮墨鑄鐵熔解過程所需的高週波感應爐是復王有限公司 (FUH-WANG CO.,LTD) 出品，型號為 FW-100，每一爐次熔量為 60kg，爐襯材料為氧化鎂，爐壁採乾式築爐。

2. 電子天秤

本實驗所使用之電子天秤為 OHAUS 公司出品，型號為 TP400D，其精度為 0.001g，用來測量球化劑的重量。

3. 影像分析顯微鏡

本實驗利用影像分析顯微鏡用來測量縮墨鑄鐵組織之肥粒鐵和波來鐵的比例及計算縮墨顆粒數。

4. 影像掃描器

本實驗所使用之影像掃描器為 AGFA SnapScan e25 來掃描影像，

再由電腦來分析石墨之長寬比。

5. 機械性質測試設備

(1) 拉伸試驗設備

本次實驗所使用之拉伸試驗機型號為 Kao Tieh 之 10 噸級動態試驗機。

(2) 硬度試驗設備

硬度試驗採用日本製油壓式勃氏硬度試驗機(IMAI TESTING MACHINE MFG.,LTD)型號為 BRINELL B03。

(3) 衝擊試驗設備

本實驗所採用之衝擊試驗機為日本製 SHIMADZU 之 Charpy 型，衝擊試驗機能量範圍 30kgf.m。

3-4 縮墨鑄鐵的熔解過程

將低錳及低硫的生鐵、矽鐵、廢鋼片等共約 60 公斤，放進高週波爐中進行熔解並加熱至 1500 左右。碳當量目標成份為共晶點附近，其中碳含量約 3.6%、矽含量約為 2.4%。進行除渣後，經由碳當量分析儀測量熔液的碳當量值(碳當量分析所用之澆注杯(Mark eutecto meter cup)是以鍍碲(Te)之熱電偶)，並配合碳當量分析儀來記錄凝固冷卻曲線，以檢測熔液之碳當量。如分析結果與預期值偏離

時，則加入增碳劑做適當調整，之後開始將鐵水倒入澆斗預熱後，再倒回高週波爐內，同時進行除渣並加熱至 1530 左右，將鐵水倒入預熱過的澆斗並測量溫度值後，始進行澆鑄。

3-5 接種及縮墨化處理

將三種球化劑分別敲碎並利用 8 mesh 篩網來選擇球化劑顆粒大小，再和粉狀接種劑放入三明治澆斗如圖 3-3 所示(三明治澆斗為自製，共分為三層，最外層為鋼鐵，中間層為矽砂和水玻璃混合，最內層為耐火泥)，並利用矽鋼片覆蓋其上，以準備澆鑄。由於出爐鐵水容量不易控制，所以為了精確起見，把三明治澆斗放置在磅秤上。利用耐火纖維材料所製之澆斗，容積約為 28 kg 來承接鐵水，大約七分滿左右並測溫，控制溫度在 1500 左右後，再倒入三明治澆斗直到磅秤到 10 kg 時立即停止，進行縮墨化及接種處理，並加以除渣，之後再澆鑄於 Y-block。

3-6 試片製作

切下 Y-block 中間之部位如圖 3-2 所示，A 部位為拉伸試棒、B 部位為衝擊試片和硬度試片、C 部位為顯微組織試片、D 部位為熱處理試片等。

3-7 鑄件退火處理

切下 Y-Block 如圖 3-2 所示 D 部位，作為退火處理用試片。退火處理過程分為 A 組(溫度控制如圖 3-4 所示)、B 組(溫度控制如圖 3-5 所示)，其步驟如下^[37-39]：

A 組

1. 將試片加熱至 550 ，在該溫度預熱約 15 分鐘，防止變形。
2. 將試片加熱至沃斯田鐵化溫度 900 保持 1.5 小時。
3. 爐內冷卻至 690 保持 5 小時。
4. 爐內冷卻直到 260 再移出爐外空冷至室溫。

B 組

1. 將試片加熱至 550 ，在該溫度預熱約 15 分鐘，防止變形。
2. 將試片加熱至沃斯田鐵化溫度 900 保持 1.5 小時。
3. 爐內冷卻至 690 保持 5 小時。
4. 爐外空冷至室溫

以上退火處理過程分為兩組，主要目的是要測試縮墨鑄鐵在完全退火中不同的冷卻速度，所得的基體組織是否相同。

3-8 顯微組織之觀察

鑄件的機械性質與基體中石墨數的多寡和結晶形狀有著密切的

關連，因此將鑄件中央如圖 3-2 (C) 部位，用切割砂輪片並配合冷卻液以適度的切削速度和進料進行切割。切割面積約為 $6\sim 12\text{ mm}^2$ ，經鑲埋處理後，依序以 80 號、120 號、240 號、400 號、600 號、1000 號、1200 號等水砂紙加以研磨，並以 $1\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 之氧化鋁粉(Al_2O_3)懸浮液拋光，再以酒精清洗、烘乾之後利用光學顯微鏡觀察基地組織中縮狀石墨的百分比。另外，以 5%Nital 腐蝕約 10 秒後，用光學顯微鏡觀察基地組織中的肥粒鐵與波來鐵所佔之百分率。其中肥粒鐵與波來鐵的百分比則是依據 Quality Control Committee (AFS) 所之比率參考圖，而作一比較分析^[40]。

3-9 縮墨化率計算方法

縮墨化率或球墨化率之量測方法至今仍存在一些技術上與理論上的爭異。當縮狀石墨鑄鐵經過深腐蝕之後，置於 SEM 下觀察時，我們經常會發現類似柱狀的縮狀石墨組織，但是當以平光顯微鏡觀察時，則呈現一個圓形，然而也就是說球狀石墨出現在縮狀石墨組織中時，利用二維影像實際上是難以決定是球墨或是縮墨。在本實驗中使用最簡單且頗具一致性之量測法，將澆鑄後之 Y-block 鑄件在中心部位切取試片，經研磨、拋光之後利用光學顯微鏡(OM)來輔以石墨顆粒數法^[41]來計算縮墨率。

計算步驟如下：

- (1) 利用影像分析顯微鏡來擷取試片之顯微組織至電腦中進行影像分析。
- (2) 利用掃描器掃取標準金相組織圖集^[42]後，至電腦中進行分析。
- (3) 利用影像分析來定義試片中之縮狀石墨長寬比，以長寬 3：1 為分界點。長寬比三倍以上則定義為縮狀石墨，三倍以下則定義為球狀石墨。
- (4) 開始進行縮墨率計算。

$$\text{縮墨率}(\%) = \frac{\text{縮狀石墨顆粒數}}{\text{全部石墨顆粒數(單位面積內)}} \times 100\%$$

3-10 機械性質試驗

1. 拉伸試驗

鑄件經工具機加工後製成拉伸試棒，以進行拉伸試驗。經過萬能試驗機測試結果，若與平均值差異太大，則另行再測試一次，以防氣孔存在而影響強度之精確性。拉伸試棒取自鑄件中央如圖 3-2 (A) 部位，依據 ASTM E8M-97^[43]之規格製作試棒，其尺寸如圖 3-6 所示，並以萬能試驗機(Material Test System : MTS)，於室溫下進行測試，得最大荷重以便求得抗拉強度。其步驟如下：拉伸試驗之前先於試棒中

段平行部份得最初之截面積(A_0)，如圖劃上 30mm 之標距長度(L_0)，以便測量伸長量 L ，並由 MTS 試驗機上記錄最大荷重(P_{max})，再除以斷面積，所得結果，即為鑄件求抗拉強度(UTS)。並將拉斷之試片重新對合，再配合原先標距長以求得伸長率(EI%)。

其中 $UTS = P_{max}/A_0$

$$EI\% = L/L_0 * 100\% \quad (L = L_f - L_0)$$

L_0 = 標距長度

L_f = 試件拉斷後密合之標距長度

P_{max} = 最大荷重

A_0 = 最初之截面積

2. 硬度試驗

切取鑄件如圖 3-2 (B)位置作為衝擊試片和勃氏硬度試片(Brinell Hardness)。首先將衝擊試片進行測試，測試完成之後，其斷裂部份再進行勃氏硬度試驗，其步驟如下：

- a. 以 $\phi 10$ mm的鋼珠，荷重 1500kg，持續 30 秒後，造成試片之永久變形。
- b. 以觀測鏡做交叉測量壓痕直徑，求取硬度值，其中每一試片打五點，求其平均值。
- c. 然後照表(10/1500)讀取勃氏硬度值。

$$\text{Brinell 硬度(BHN)}=2P/ \pi [D - (D^2-d^{1/2})^{1/2}]$$

P=荷重 (Kg)

D=壓痕器直徑 (mm)

d=凹痕直徑 (mm)

3.衝擊試驗

在鑄態下將 Y-Block 加工成無缺口的標準衝擊試片，主要是基於縮墨鑄鐵對於缺口裂縫之敏感性，所以採用無缺口的衝擊試片，其尺寸根據 ASTM A327-91 規範^[44]，如圖 3-7 所示。本實驗採用 Charpy 衝擊試驗機以擺錘提升 60° 在室溫下進行測試。若與平均值差異太大，則另行再測試一次，以防氣孔或有雜質的存在而影響衝擊值之精確性。

衝擊試片取自鑄件如圖 3-2 (B)部位，而實驗的目的主要在測量材料於高應變率之下所吸收的能量，即材料之衝擊值。一般來說，脆性材料之韌性較差、衝擊值較低，而延性材料之韌性較佳，具有較高之衝擊值，其中測試方法如圖 3-8 所示。

3-11 變異數分析

將實驗所得之機械性質參數代入公式(如附錄一)中，以求得各項因素之變異數與標準差，並將各組實驗結果之縮墨率以統計方法 -

ANOVA 單因子變異數分析，來檢測出添加三種不同球化劑所生產之縮墨鑄鐵所得縮墨率之間是否有無顯著差異。