

## 澆鑄鑄鐵時成份損失預測與其品質影響之研究

黃立仁<sup>1</sup> 柴雲清<sup>2</sup> 鄭朝旭<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 中州科技大學機械與自動化工程系副教授 lrhwang@dragon.ccut.edu.tw

<sup>2</sup> 中州科技大學機械與自動化工程系副教授 ucchai@dragon.ccut.edu.tw

<sup>3</sup> 中州科技大學機械與自動化工程系副教授 chaohsu@dragon.ccut.edu.tw

### 摘 要

本研究利用不同成份的濕模砂，造模成單獨流路系統後，澆鑄熔融鐵水，並在流路出口處上取冷激片，作化學成份分析，全面探討鑄鐵鐵水成份變化、澆鑄時間、溫降、砂模成份變化等，對熔融鐵水與濕模砂在流路反應前後的鐵水化學成份變化。實驗結果顯示，砂模與鐵水接觸反應後，鐵水的成份會產生變化；鐵水成份變化與反應氣氛會影響濕模沙鑄件表面品質。綜合實驗的資料，有助於瞭解各種鑄件作表面品質的關係和成因，提供給工業界做參考。

關鍵詞：濕模砂、化學成份、鑄件品質

### 壹、前 言

鑄鐵可以當作是一種在基地上含有高矽與高碳成分的鋼，同時有石墨與雪明碳鐵散佈在基地內部，此石墨與雪明碳鐵係在凝固過程中結晶與析出，而此類析出物可以稱為共晶石墨或共晶碳化物。而攸關鑄件品質之熔液處理正確，則生鐵鑄件不良之原因中，有70%以上是模砂不良所引起的。改良模砂的結果，能使鑄件表面光滑，同時可提高精度，使鑄件後續的加工工作容易進行，即等於提高了鑄件製品本身之商品價值，也間接提高公司的利益。近年來，使用者對鑄件表面之要求日益嚴格，進而亦要求鑄件之精度，因此模砂應負之責任也益形重要。在一般鑄造工廠，鑄件之原料成本中，模砂所佔比率約為0.5~4%左右，而能成功地減少不良品，公司所獲得之利益比改善模砂所投資的費用來得高。

---

通訊作者

姓名：黃立仁

E-mail: lrhwang@dragon.ccut.edu.tw

**Goodale[1]**早期研究當融熔鑄鋼進入模穴內時，CO<sub>2</sub>和CO的形成原因，即模砂所吸收水分因受鐵水高溫，瞬間分解成H<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>，解釋其反應式： $2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 而反應產生的O<sub>2</sub>會再與融熔Fe反應生成FeO。部份O<sub>2</sub>亦可能與C反應成CO<sub>2</sub>。產生的CO<sub>2</sub>與高溫的Fe反應生成FeO和CO。**Briggs[2]**量測氣氛從受熱反應的模砂生成的CO<sub>2</sub>和CO氣體量。**Volenik[3]**研究從受熱反應的砂心砂氣氛生成的氣體成份。**Dietert[4]**調查澆鑄融熔鐵水和模砂反應時，控制模穴氣氛的與減少鑄件表面缺陷的方法。

**Locke[5]**研究模穴氣體化學反應證明氫氣無論在溼模砂或乾模砂都偵測得到，但溼模砂會產生較多的氫氣量。而模穴反應出的其它氣體分別為CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>,和paraffin。**Locke[6]**亦描述當澆鑄開始時，模穴內正常是充滿空氣，另外就是混練的模砂受高溫鐵水的影響，反應產生氧化反應、水分蒸發、或有機物的分解。**Dietert[7]**說明模穴受熱所冷凝水分可能會吸收部份反應出的鹼性氣氛，導致測試值低於實際應有的氣氛量。但**Perry[8]**則證明在大氣壓下冷凝水分所吸收反應出的鹼性氣氛式相當少。**Ghorpade[9]**發展鑄鋼商用的氧氣探針以偵測其中的氧氣含量，來提升鐵水品質。

**Draper[10]**表示砂模中水分含量增加是間接或直接引起金屬穿透的原因，而還原性或中性氣氛可避免金屬穿透，若以導致金屬穿透的氧化性氣氛順序比較，則以air>CO<sub>2</sub>>O<sub>2</sub>。**Scott[11]**發現模穴的還原性氣氛較濃，則鑄件較少砂黏著或燒結現象。**Bachmann[12]**的研究證明模砂可蒸發或燃燒的物質確實是保持還原性氣氛的來源，且會在鑄件表面分解為光澤碳(lustrous carbon)。**Scott and Bates [13, 14, 15]**則指出砂模中的樹脂結合劑所分解的氣體，在砂模與鑄件界面會明顯影響鑄鐵件的品質。

**Shih [16, 17]**的研究發現溼模砂中添加物的添加順序和混練時間，會影響溼模砂的性質，主要是因為擴散的黏土顆粒包裹砂砂即炭素添加物的方式不同，使得砂模澆鑄時所反應出的氣體量與成份不同。**Toenisoetter [18]**描述模砂中添加少量的酸可減少砂砂表面的離子附著，增加樹脂結合劑與砂砂黏結。**Sringesh [19]**研究結果指出鑄造造模時的砂鐵比，可有效合理預測有機結合劑模砂的砂燒結現象。

**Hwang and Shih[20]**說明充模時的暫態充模現象與模穴累積氣體壓力的關係，且研究砂因黏土和煤粉等添加物的添加順序與混練時間不同，砂模成份會因此改變，使得砂模受熱反應出的氣體量和鑄件的表面品質受影響[21]。

**Heine and et al. [22, 23, 24, 25]**研究融熔鑄鐵的化學成份受鐵水的氧化和還原反應控制，因此灰鑄鐵的熔煉直接影響其成份變化與凝固冷卻後微結構。這些參考文獻中熔渣(slag)與浮渣(dross)形成的反應原理，利用熱化學反應式解釋鑄鐵融化過程的反應，發現預防熔渣與浮渣形成較這些文獻中所計算的成份部份更複雜，所以鑄鐵化學成份應被視為是參考值而非絕對值。氧化物是熔渣的主要組成，而氧化物可來自於融熔金屬澆鑄時爐壁耐火料、燃料、灰、澆鉢內襯、氧化的金屬等反應。

**Latona and et al. [26]**調查球墨鑄鐵的澆鑄溫度、流路系統、模穴中的砂心、造模材料與化學成份等會發現影響浮渣的發生。**Naro and Wallace [27]**綜合研究發現球墨鑄鐵中微量元素



對球墨的成核成長特性有相當影響。

**Savage and Taylor[28]** 研究解釋融熔鑄鋼表面與矽砂氧化反應結果形成矽酸鐵 ( $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ) [29]。**Flinn and Van Vlack [30]** 則詳細陳述鑄鋼件非氧化反應的缺陷原因。

**Colligan[31]** 調查評量溼砂模中反應出的  $\text{CO}_2/\text{CO}$  氣氛比值，在一定溫度和氣氛下會達到平衡，但鐵水中添加過量錳會形成砂模中矽砂的融化。**Svoboda [32]** 實驗結果表示砂模中分解出的氧會降低矽砂的沾溼角，使鐵水易沾溼矽砂，因此  $\text{FeO}$  容易沾溼氧化鋁或氧化矽，且沾溼的量隨氧含量而增加。當大量的氧形成  $\text{FeO}$  反應平衡時，化學反應金屬穿透的嚴重表面會很明顯[33]。

**Davison and et al. [34]** 研究發現灰鑄鐵中若鈦或鋁的含量不足與自由氮反應，則從瀝青的炭素材料中反應出特別形態的氮元素會引起鑄件表面缺陷。**Dawson and et al. [35]** 研究鑄件表面孔洞的型態分類，主要可分為高氣體含量的金屬孔、溼砂模或砂心形成的吹孔、氮形成的針孔、複雜的氮/氮針孔、碳和氧反應形成的孔。**Leveink and Berg [36]** 研究建立澆鑄時水份瞬間蒸發的聲音型態，以驗證何種條件下鑄件會產生水份爆炸的缺陷。**Svoboda and Geiger [37]** 分析鑄造時不同的金屬穿透機構發現至少有三種方式：液態機械穿透、化學反應穿透和蒸汽狀態穿透[10~15]。

綜合以上的研究成果發現，對於融熔鐵水與不同砂模在流路系統和模穴中的反應，導致鐵水成份的變化和鑄件表面品質的關係，尚須加以綜合驗證。本研究所要全面探討的參數有灰鑄鐵和球墨鑄鐵鐵水成份變化、澆鑄時間、溫降、砂模成份變化鑄件品質等，並主要討論砂模與鐵水接觸反應後，鐵水的成份變化；鐵水成份變化與鑄件品質的關係。

## 貳、實驗方法與步驟

### 一、造模

本研究使用矽砂顆粒粗細度是 AFS GFN 60~62，並加入市售美國進口之 Na 膨潤土 (Na-B)、煤粉和回收粉塵 (recycled dust) (AFS GFN 分別為 252、170、145)。實驗的模砂，其備製的濕模砂範圍為西方黏土 6~10%，煤粉為 2%，回收粉塵 6.2% (其中甲基藍活性黏土量為 65%)。所有各組的濕模砂利用 Simpson 混砂機混練累積混練達 15~20 分鐘，造模時壓縮比控制在 40~45%，模面硬度為 78~82，水份為 2.5%~4.5%，濕模砂成份和混練情形如表 1 所示。

表 1 實驗的濕模砂成份和混練

No constituents of green sands	Moisture (%)	Active clay (%)	Full clay (%)	L.O.I (950°C-1hr) (%)
1 clay (6%) +seacoal (2%)	2.4~2.7	5.5	7.5	3.2
2 clay (10%) +seacoal (2%)	3.6~3.7	9.6	11.2	2.7
3 clay (6%) +seacoal (2%) + recycled dust (6.2%)	4.2~5.2	8.7	10.5	3.8

澆注之 L 型模流路的尺寸設計及示意圖如圖 1 所示，其目的在得到鐵水流經流路後的成份變化和溫降、流過流路接觸時間、與砂模水分的關係。並將砂模通過的第一次鐵水做冷激試片，後來流過的鐵水澆鑄預先做好的 1 cm-Y 型標準鑄塊，準備用來做通過流路後鑄件的機械性質和金相組織測試。

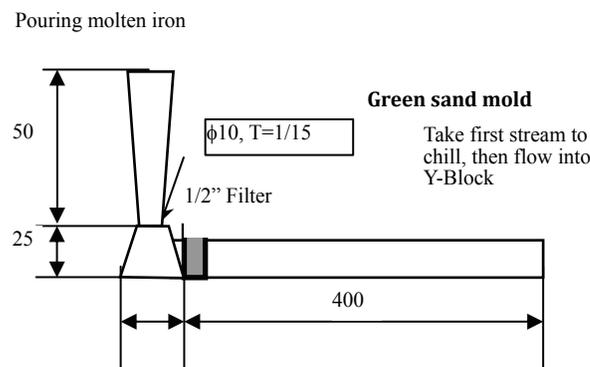


圖 1 模穴的尺寸設計及示意圖

## 二、熔煉 (melting)

熔煉的鑄鐵鐵水成份分為灰鑄鐵和球墨鑄鐵兩種，球墨鑄鐵碳當量設為 4.4%，灰鑄鐵設為 4.4% 和 3.8% 兩種，矽皆為 2.4%。皆利用 50 Kg 高週波爐熔煉，澆鑄前灰鑄鐵先用 0.3% 鐵矽 (75% Si) 接種劑接種，澆鑄溫度為 1420~1460 °C。而球墨鑄鐵用三明治法球化及接種，用量為 0.15% 鐵矽 (75% Si) 和 0.15% 鈣矽 (52% Si) 接種劑接種，1.4% 鎂矽鐵 (54% Mg) 球化劑，澆鑄溫度為 1430~1460 °C 和 1480~1520 °C。各爐次成份如表 2 所示。



表 2 各爐次熔煉的鑄鐵鐵水成份與澆鑄溫度

Iron No.	C	Si	Mn	Mg	CE%	PT (°C)
Ductile 1	3.58	2.74	0.300	0.0281	4.49	1480-1520
Ductile 2	3.54	2.17	0.280	0.0119	4.26	1430-1460
Gray 1	3.19	2.34	0.459	--	3.97	1420-1460
Gray 2	3.44	2.63	0.503	--	4.32	1420-1460

### 三、澆鑄 (pouring)

澆鑄 L 型砂模時，在澆鑄前量測鐵水的澆鑄溫度和做接種後的冷激試片，澆鑄後則利用熱電偶 (K-type) 量測鐵水流過流路的接觸時間、溫降，並作另一個冷激試片，後來的鐵水澆鑄至 1 cm-Y 型鑄模。

### 四、化學成分、金相及鑄件分析

1. 利用分光儀做鑄鐵冷激試片的化學成份分析，取三次平均。
2. 利用熱電偶所測得的溫度計算在流路的實際溫降及鐵水流過 L 型流路的接觸時間。
3. 澆鑄所得的 Y 型鑄件切割下底部，利用銑床銑削成標準無缺口 (un-notch) 的衝擊試片 (10X10X75mm) 作衝擊測試，並做勃氏硬度測試，試片經研磨拋光腐蝕 (3% Nital) 後作 OM、SEM 金相觀察。

## 參、結果與討論

### 一、鐵水經過流路之成份變化

#### 1. 碳的損失

圖 2 (a) 顯示砂模水分含量與鐵水流經流路後，鐵水中含碳量損失的關係，其中球墨鑄鐵與灰鑄鐵的成份在流經相同流路後，球墨鑄鐵的碳成份損失較灰鑄鐵明顯，又澆鑄溫度愈高碳含量成份的損失也愈明顯。且不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，澆鑄時流路模砂中含水分愈多，則 C% 的損失愈大，這是因砂模中自由水分與鐵水接觸瞬間會分解為氫和氧 ( $H_2O=H_2+1/2O_2$ )，此氧氣會提供鐵水流動時氧化反應的主要來源。而這時鐵水還在高溫，氧會與高溫的鐵水反應形成流動性的氧化鐵渣 ( $Fe+O_2=FeO$ )，又氧化鐵和一氧化碳反應，使鐵水中碳成份產生變化 ( $FeO+CO=Fe+CO_2$ )。

又圖 2 (b) 顯示鐵水溫降與鐵水流經流路後，鐵水中含碳量的損失的關係。不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，鐵水溫降愈大，則 C% 成份的損失愈大，這是因鐵水溫降大則砂模中含水量愈多吸熱愈多，則水分分解為氧的量增多，使鐵水中碳成份產生變化愈大。而圖 2 (c) 顯示砂模與鐵水流經流路後，鐵水接觸時間 (在流路中接觸時間) 與鐵水中含碳量的損失的關係，

不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，與砂模接觸時間愈長，則 C% 的損失愈大，這是因鐵水與砂模中水分分解的氧反應機會與時間增加，使鐵水中碳成份變化更明顯。

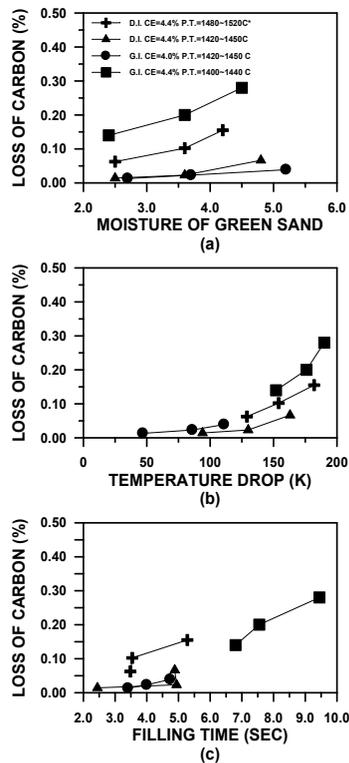


圖2 鐵水流經流路後，(a) 砂模水分含量與、(b) 鐵水溫降、及 (c) 接觸時間與鐵水中含碳量損失的關係

## 2. 砂的損失

圖 3 (a) 顯示砂模水分含量與鐵水流經流路後，鐵水中含砂量損失的關係，其中球墨鑄鐵與灰鑄鐵的成份在流經相同流路後，砂成份損失隨澆鑄溫度愈高其損失也愈大，這是因澆鑄溫度愈高則砂氧化反應愈劇烈所致。因砂模中自由水分與鐵水接觸瞬間會分解為氫和氧 ( $H_2O=H_2+1/2O_2$ )，此氧氣會提拱鐵水流動時氧化反應的主要來源。而這時鐵水還在高溫，氧會與高溫的鐵水中的 Si% 反應形成氧化矽渣 ( $H_2O+Fe[Si,C]=CO+SiO_2+H_2$ ) [14]，使鐵水中 Si% 成份產生變化，致使鐵水經流路後其 Si% 的成份產生損失。



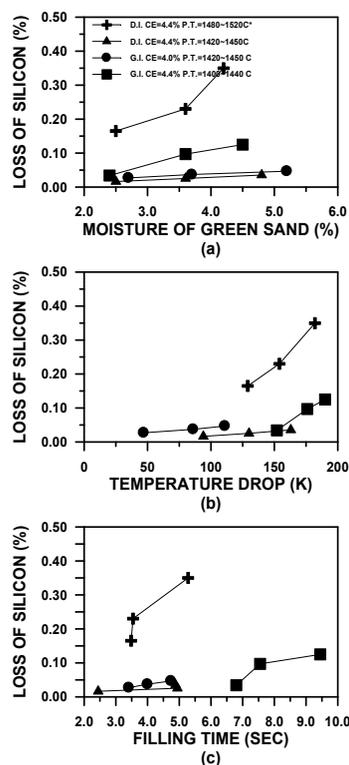


圖3 鐵水流經流路後，(a) 砂模水分含量與、(b) 鐵水溫降、及 (c) 接觸時間與鐵水中含矽量損失的關係

又圖 3 (b) 顯示鐵水溫降與鐵水流經流路後，鐵水中含矽量的損失的關係。不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，鐵水溫降愈大，則 Si%成份的損失愈大，這是因鐵水溫降大則砂模中含水量愈多吸熱愈多，則水分分解為氧的量增多，使鐵水中 Si 成份產生變化愈大。而圖 3 (c) 顯示砂模與鐵水流經流路後，鐵水接觸時間與鐵水中含 Si 量的損失的關係，不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，與砂模接觸時間愈長，則 Si%的損失愈大，這是因鐵水與砂模中水分分解的氧反應機會與時間增加，使鐵水中矽成份變化更明顯。

### 3. 錳的損失

圖 4 (a) 顯示砂模水分含量與鐵水流經流路後，鐵水中含錳量損失的關係，其中球墨鑄鐵與灰鑄鐵的成份在流經相同流路後，球墨鑄鐵中錳含量損失較灰鑄鐵少，這是因球墨鑄鐵本身的錳含量就相當少。而這時鐵水還在高溫，氧會與高溫的鐵水中的 Mn%反應形成氧化錳渣 ( $Mn + 1/2O_2 = MnO$ )，使鐵水中 Mn%成份產生變化，致使鐵水經流路後其 Mn%的成份產生損失。

又圖 4 (b) 顯示鐵水溫降與鐵水流經流路後，鐵水中含錳量的損失的關係。不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，鐵水溫降愈大，則 Mn%成份的損失愈大，這是因鐵水溫降大則砂模中含水量愈多吸熱愈多，則水分分解為氧的量增多，使鐵水中 Mn%成份產生變化愈大。而圖 4 (c) 顯示砂模與鐵水流經流路後，鐵水接觸時間與鐵水中含 Mn%量的損失的關係，不論是灰鑄鐵

或球墨鑄鐵，與砂模接觸時間愈長，則 Mn% 的損失愈大，這是因鐵水與砂模中水分分解的氧反應機會與時間增加，使鐵水中錳成份變化更明顯。

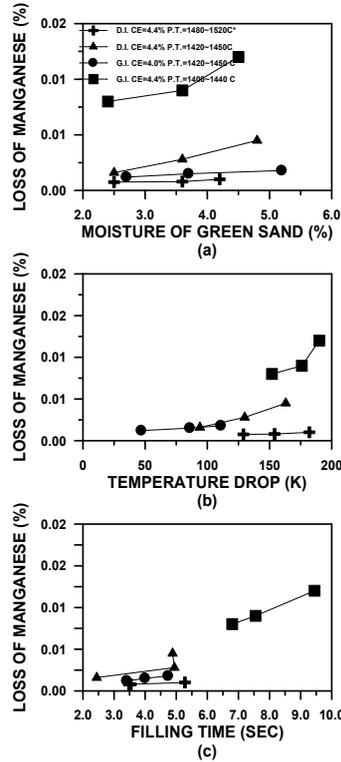


圖4 鐵水流經流路後，(a) 砂模水分含量與、(b) 鐵水溫降、及 (c) 接觸時間與鐵水中含錳量損失的關係。

#### 4. 鎂的損失

圖 5 (a) 顯示砂模水分含量與鐵水流經流路後，鐵水中含鎂量損失的關係，其中球墨鑄鐵在流經流路後，鐵水中鎂含量損失隨澆鑄溫度而增加。又球墨鑄鐵澆鑄時流路模砂中含水分愈多，則 Mg% 的損失愈大。而這時鐵水還在高溫，氧會與高溫的鐵水中的 Mg% 反應形成氧化鎂渣 ( $Mg + 1/2O_2 = MgO$ )，使鐵水中 Mg% 成份產生變化，致使鐵水經流路後其 Mg% 的成份產生損失。

又圖 5 (b) 顯示鐵水溫降與鐵水流經流路後，鐵水中含錳量的損失的關係。球墨鑄鐵鐵水溫降愈大，則 Mg% 成份的損失愈大，這是因鐵水溫降大則砂模中含水量愈多吸熱愈多，則水分分解為氧的量增多，使鐵水中 Mg% 成份產生變化愈大。而圖 5 (c) 顯示砂模與鐵水流經流路後，鐵水接觸時間與鐵水中含 Mg% 量的損失的關係，球墨鑄鐵，與砂模接觸時間愈長，則 Mg% 的損失愈大，這是因鐵水與砂模中水分分解的氧反應機會與時間增加，使鐵水中鎂成份變化更明顯。



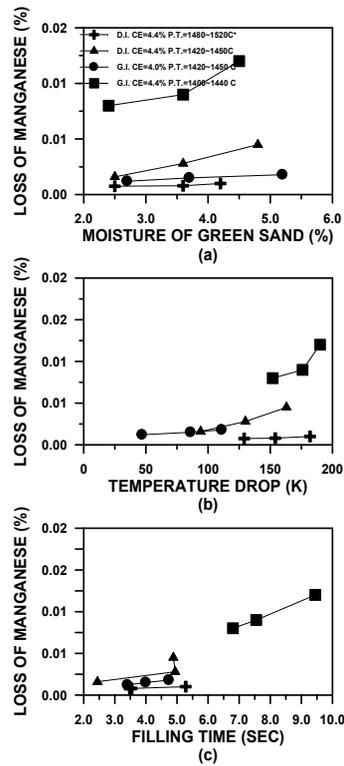


圖5 鐵水流經流路後，(a) 砂模水分含量與、(b) 鐵水溫降、及 (c) 接觸時間與鐵水中含鎂量損失的關係

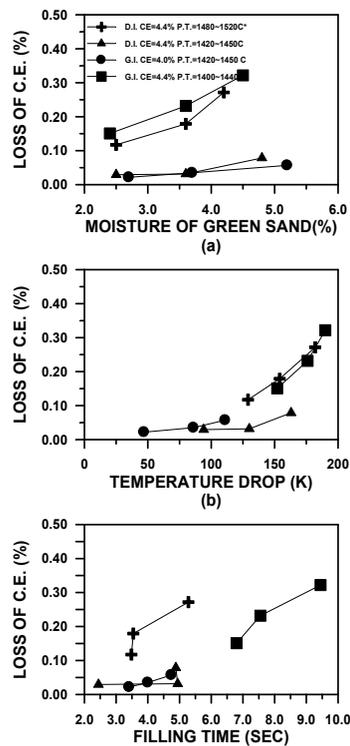


圖6 鐵水流經流路後，(a) 砂模水分含量與、(b) 鐵水溫降、及 (c) 接觸時間與鐵水中含碳當量 (CE%) 量損失的關係

## 5. 碳當量的損失

圖 6 (a) 顯示砂模水分含量與鐵水流經流路後，鐵水中碳當量 (CE%) 損失的關係，其中球墨鑄鐵與灰鑄鐵的成份在流經相同流路後，球墨鑄鐵的碳當量損失亦如碳損失較灰鑄鐵明顯，又澆鑄溫度愈高碳當量的損失也愈明顯，這是因澆鑄溫度愈高則氧化反應愈劇烈，不論是水份的分解或是鐵水中碳的燒出或矽的氧化愈快。不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，澆鑄時流路模砂中含水分愈多，則碳當量的損失愈大，這是因鐵水在前端的碳和矽元素的氧化反應劇烈，致使鐵水經流路後其碳當量的成份產生損失。

又圖 6 (b) 顯示鐵水溫降與鐵水流經流路後，鐵水中碳當量的損失的關係。不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，鐵水溫降愈大，則碳當量成份的損失愈大，這是因鐵水溫降大則砂模中含水量愈多吸熱愈多，則水分分解為氧的量增多，使鐵水中碳當量成份產生變化愈大。而圖 6 (c) 顯示砂模與鐵水流經流路後，鐵水接觸時間與鐵水中碳當量的損失的關係，不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵，與砂模接觸時間愈長，則碳當量的損失愈大，這是因鐵水固溶的碳和矽與砂模中水分分解的氧反應機會與時間增加，使鐵水中碳當量成份變化更明顯。

## 二、鑄件的機械性質與微結構比較

圖 7 (a) ~ (d) 顯示鐵水流經流路後注入 Y 型標準鑄件後，鑄件所測試的勃氏硬度值及衝擊值對碳含量損失的比較，灰鑄鐵的勃氏硬度值及衝擊值並非隨碳 (C) 或其它主要原素 (Si, Mn) 的損失而增加，因本研究所使用砂模成份不同並具不同水份，成份的損失雖使灰鑄鐵的成核多但顆粒可能不夠大[38]，所以無法有效因成份的損失而使機械性質提升，如圖 7 (a) 和圖 7 (b) 所示。而球墨鑄鐵鐵水在流經砂模高水分 (4.5% 以上) 的流路，其衝擊韌性及勃氏硬度測試值會提升很多，如圖 7 (c) 和 (d) 中所示，因流動的鐵水會與砂模中的矽砂、煤粉等反應，增加鐵水中球墨成核的機率及經過流路後鐵水已經溫降的注入 Y 型鑄件中，使經過流路的鑄件機械性質較好。表 3 表示鐵水流經流路後注入 Y 型標準鑄件，其鑄件所測試的勃氏硬度值及衝擊值的比較。



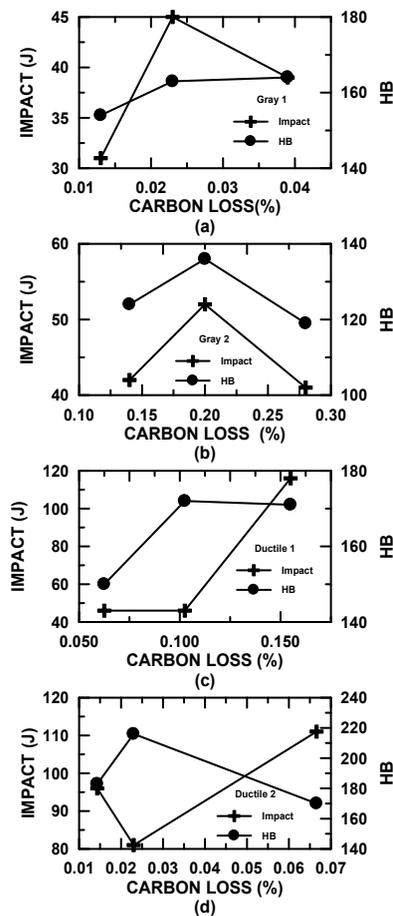


圖7 鐵水流經流路後注入Y型標準鑄件後，鑄件所測試的勃氏硬度值及衝擊值對碳含量損失的比較

究其主要的原由是鑄態的灰鑄鐵或球墨鑄鐵，部份的氧化物顆粒 ( $MnO$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ) 會成為石墨的核心[38, 39]，而部份的顆粒可能會以氧化物的形態存在於基地中，並未能促使顆粒成長而形成球墨或片墨，尤其是矽含量較高的球墨鑄鐵，因矽含量提高，促使細小顆粒的增加，而多數顆粒是以  $SiO_2$  的氧化物存在，亦會測出  $MgO$  (如圖 8 顯示勃氏硬度值及衝擊值對鎂損失關係)，所以對基地組織而言，矽含量損失愈高，矽模水分含量愈高，則球墨鑄鐵球化率增加及鑄鐵晶粒也可能會細化。灰鑄鐵或球墨鑄鐵經流路與未經流路的影像分析照片，圖中顯示經流路後的冷激片中顆粒數較多且小，顆粒分布結果所示。在冷激片中可發現，高矽含量之冷激片其細小顆粒有增加之趨勢 (如圖 9 (a) 所示)，矽為成核顆粒之主要成份，所以矽含量愈多，增加氧化矽成核機會，所以球墨鑄鐵的顆粒較灰鑄鐵多且均勻分佈，因而機械性質較優越了。又灰鑄鐵鐵水中錳含量高，會促進顆粒總數目減少。因此經流路後錳含量損失較多，則其冷激片上出現粗大之顆粒數目較多 (如圖 9 (b) 所示)。

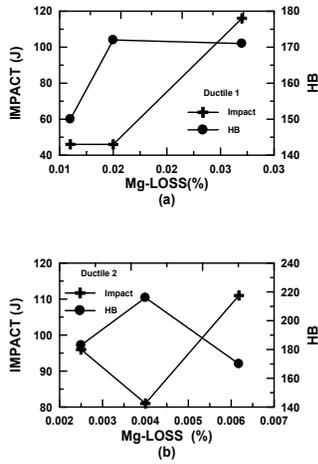


圖8 勃氏硬度值及衝擊值對鎂損失關係

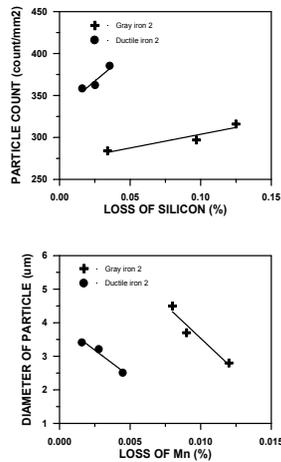


圖9 (a) 灰鑄鐵或 (b) 球墨鑄鐵經流路後的冷激片中顆粒數與成分損失關係

就機械性質而論，灰鑄鐵或球墨鑄鐵的Y型鑄件中，不流經砂模流路系統者，其勃氏硬度值及衝擊值皆較低，這是因鐵水未經流路與砂模氧化反應及溫降，其中氧化反應增加基地成核的機率，如圖 10 灰鑄鐵或圖 10 球墨鑄鐵未經流路的金相組織所示，又澆鑄溫度低亦會使機械性質提高。灰鑄鐵或球墨鑄鐵由微結構中觀察，可清楚看出經過流路的鑄件，其波來鐵組織所佔比率較多，如圖 10 顯示灰鑄鐵或圖 10 球墨鑄鐵經流路的金相組織，其成核位置較多，證明組織中晶粒會較小，所以機械性質會較好。球墨鑄鐵金相組織照片中可看出基地中石墨顆粒多且均勻且大多為肥粒鐵組織，所以韌性會增加許多，但砂模含水分愈多則機械性質並不會提升太多，因鐵水中碳的還原作用所致（如圖 10 灰鑄鐵和球墨鑄鐵經不同水份流路的金相比較）。不論是灰鑄鐵或球墨鑄鐵其鑄態機械性質受基地中肥粒鐵、波來鐵量及時墨形態及分布的影響。肥粒鐵比例高則伸長率與衝擊值均增加，而硬度則會下降。肥粒鐵量低對基地機械性質的影響則相反。



### 三、鑄件的表面品質

鑄鐵凝固時和  $O_2$  反應形成的  $FeO$ ，會與黏土顆粒氧化層的  $SiO_2$  反應，使鑄件表面產生矽化鐵物的機會大增，因而鑄件表面會發生金屬透入，澆鑄灰鑄鐵於各組砂模時，圓柱型鑄件的表面品質。濕模砂混練短時間時，因有光澤碳產生，明顯地使表面較光滑 (smooth)；而添加回收粉塵混練時，顯示鑄件表面在凝固時，因氧化鐵和矽砂顆粒互相反應，使鑄件表面產生金屬透入。

根據以上的觀察和討論結果，影響鑄件表面形成光澤碳的原因是

- (1) 充模後使濕砂模的蒸發界面 (VI) 快速的移動；
- (2) 砂模添加適量的碳素添加物，並作短時間的混練，短時間混練的濕砂模吸收較少的水份，且添加的煤粉較不受黏土完全包裹，這些條件是砂模澆鑄後，受熱反應並促使鑄件表面光滑的必備條件。

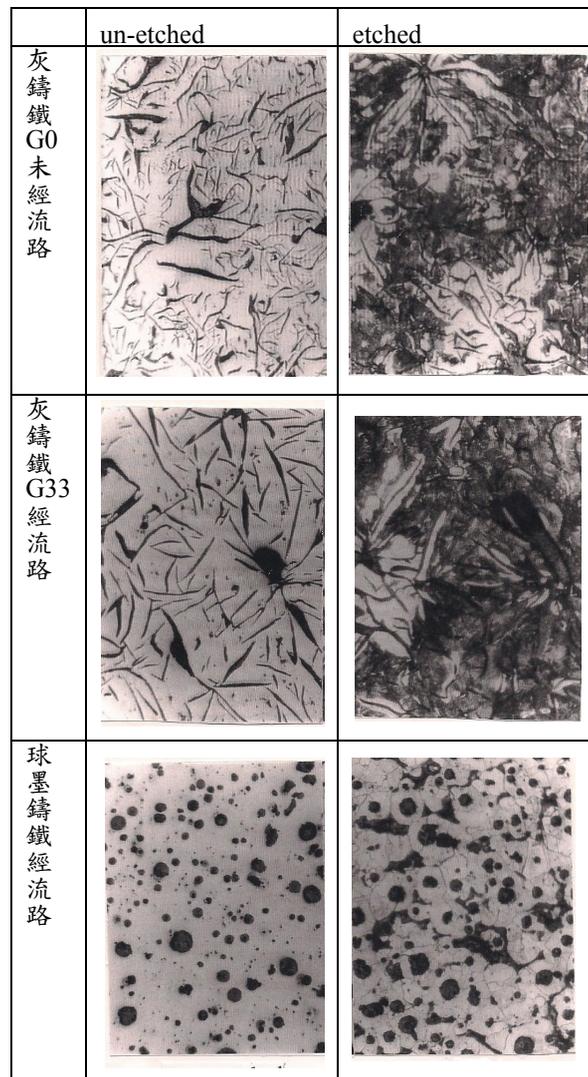


圖10 比較灰鑄鐵未經流路、經流路球墨鑄鐵經不流路鑄件腐蝕前和腐蝕後金相

所以鑄件表面在充模完 30 秒，必需要有較高的還原性氣氛保護外，後來鑄件凝固時（30 秒以後），還原性氣氛持續產生一段時間，且有適當氧化性氣氛，阻擾後續的反應，才會有較光滑的鑄件表面。產生以上這種氣氛的條件，除濕砂模的成份外，混練時間長短亦為一重要因素。

#### 四、成份損失預測

以本實驗中以鑄鐵鐵水過熱溫度、澆注時間、砂模含水量為自變項（x 變項），而以球墨鑄鐵和灰鑄鐵化學成份損失（C, Si, CE）為依變項（Y 變項）做迴歸分析；利用鑄鐵鐵水過熱溫度、澆注時間、砂模含水量迴歸分析預測其球墨鑄鐵和灰鑄鐵化學成份損失（C, Si, CE），多元迴歸分析之標準迴歸方程式為：

$$C \text{ Loss} = -0.040 - 0.008 \text{moisture} + 0.001 \text{dT} + 0.005 \text{ fillingtime}$$

其中相關係數  $R^2 = .715$ ， $F = 6.681^*$

$$Si \text{ Loss} = -0.037 - 0.046 \text{ moisture} + 0.002 \text{dT} + 0.018 \text{ fillingtime}$$

其中相關係數  $R^2 = 0.558$ ， $F = 3.370^*$

$$CE \text{ Loss} = -.045 - .021 \text{ moisture} + .002 \text{ dT} + .007 \text{ fillingtime}$$

其中相關係數  $R^2 = .651$ ， $F = 4.980^*$

#### 肆、結 論

1. 若鐵水膠注入砂模中因溫降快會更促使氧化物渣的大量產生。鐵水中成份的損失隨砂模含水量、經過流路時間、鐵水溫降愈大，則各種成份的變化愈大。
2. 鐵水經過流路後，其機械性質明顯提升，但砂模含水量愈多則機械性質並不會提升太多，因鐵水中碳的還原作用所致。
3. 鐵水中成份的損失隨砂模含水量、經過流路時間、鐵水溫降愈大，則成份的變化愈大。
4. 鐵水經過流路後，其機械性質明顯提升，但砂模含水量愈多則機械性質並不會提升太多。
5. 濕模砂添加 2% 煤粉經短時間混練，澆鑄灰鑄鐵後，鑄件表面品質會較好，而添加 2% 煤粉和回收粉塵 6.2% 作短時間混練，產生鑄件表面較差，形成嚴重金屬透入。

#### 伍、參考文獻

1. P. L. Goodale: AFS Transactions, Vol. 38 (1930) p 471
2. C. W. Briggs and R. Morey: AFS Transactions, Vol. 47 (1939) p 653



3. V. Volenik : AFS Transactions, Vol. 54 (1946) p 86
4. H. W. Dietert and et al.: AFS Transactions, Vol. 56 (1948) p 528
5. C. Locke and R. L. Ashbrook: AFS Transactions, Vol. 58 (1950) p 584
6. C. Locke and R. L. Ashbrook: AFS Transactions, Vol. 80 (1972) p 91
7. H. W. Dietert and et al.: AFS Transactions, Vol. 84 (1976) p 221
8. R. H. Perry and D. Green: Perry's Chem. Eng. Handbook, (1984) p 3-98
9. C. Ghorpade, R. W. Heine and C. R. Loper, Jr.: AFS Transactions, Vol. 83 (1975) p 193
10. A. L. Draper and J. L. Gaindhar: AFS Transactions, Vol. 83 (1975) p 593
11. W. D. Scott, P. A. Goodman and R. W. Monroe: AFS Transactions, Vol. 86 (1978) p 599
12. J. Bachmann and D. Baier: AFS Transactions, Vol. 90 (1982) p 465
13. W. D. Scott and C. E. Bates: AFS Transactions, Vol. 83 (1975) p 519
14. C. E. Batts and W. D. Scott: AFS Transactions, Vol. 84 (1976) p 793
15. C. E. Bates and W. D. Scott: AFS Transactions, Vol. 85 (1977) p 209
16. T. S. Shih: JFS Transactions, Vol. 11 (OCT. 1992) p 20
17. T. S. Shih and C. H. Hwang: JFS Transactions, Vol. 14 (DEC. 1992) p 38
18. R. H. Toenisoetter: AFS Transactions, Vol. 81 (1973) p 280
19. K. Sringsesh: AFS Transactions, Vol. 83 (1975) p 257
20. L. R. Hwang and T. S. Shih: AFS Transactions, Vol. 104 (1996) p 627
21. T. S. Shih, L. R. Hwang and M. Y. Hwang: AFS Transactions, Vol. 104 (1996) p 825
22. R. W. Heine: AFS Transactions, Vol. 59 (1951) p 121
23. E. A. Lange and R. W. Heine: AFS Transactions, Vol. 59 (1951) p 472
24. R. W. Heine and C. R. Loper, Jr.: AFS Transactions, Vol. 74 (1966) p 274
25. R. W. Heine and C. R. Loper, Jr.: AFS Transactions, Vol. 74 (1966) p 421
26. M. C. Latona, H. W. Kwon, J. F. Wallace and J. D. Voss: AFS Transactions, Vol. 92 (1984) p 881
27. R. L. Naro, J. F. Wallace: AFS Transactions, Vol. 78 (1970) p 229
28. R. E. Savage and H. F. Taylor: AFS Transactions, Vol. 57 (1950) p 564
29. G. Kaptay and D. M. Stefanescu: AFS Transactions, Vol. 100 (1992) p 707
30. R. A. Flinn and L. H. Van Vlack: AFS Transactions, Vol. 68 (1960) p 295
31. G. A. Colligan, L. H. Van Vlack and R. A. Flinn: AFS Transactions, (Jan. 1961) p 104

32. J. M. Svoboda: J. of metals, ( March 1968 ) p 85
33. D. M. Stefanescu, P. Delannoy, T. S. Piwonka and S. Kacar: AFS Transactions, Vol. 99 ( 1991 )  
p 761
34. M. H. Davison, F. P. H. Chen, and J. Keverian: AFS Transactions, Vol. 71 ( 1963 ) p 528
35. J. V. Dawson, J. A. Kilshaw, and A. D. Morgan: AFS Transactions, Vol. 73 ( 1965 ) p 224
36. H. G. Leveink and H. v. d. Berg: AFS Transactions, Vol. 79 ( 1971 ) p 421
37. J. M. Svoboda and G. H. Geiger: AFS Transactions, Vol. 77 ( 1969 ) p 281
38. M. R. Lee, Master thesis, National Central University, Taiwan, R.O.C, 1998
39. E. R. Kaczmarek, R. Leitermann and R. W. Heine, AFS Transactions, 1997-32, p.67-75



# The Affection of Molding Sands and Metallurgical Parameters on Ferrous Castings

## ABSTRACT

This study fully investigates the effect of filling time, pouring temperature, and chemical composition of molten iron in different sand molds of moisture on the constituent changes of silicon and carbon in the runners.

Variables concerned are temperatures of molten iron, ingredients of green sand and its mulling effect, different filling time in the runners. Green sand will be prepared in the range of bentonite (6-10%), seacoal (2%) and recycled dust (6.2% max.). Microstructures and surface qualities also observed from the effect of changes of chemical composition during filling.

Under the effect of above-mentioned variables, experimental data can show the ingredients changes of silicon and carbon before and after the runners, surface qualities of casting when dynamic sampling atmosphere during filling. All these data will be treated as reference base for comparing the surface qualities of castings and carbon equivalent loss from the pouring trials.

Keywords: green sand mold, chemical composition, casting quality