

感應電爐熔鑄能力本位訓練教材 認識耐火材料

編號：PMF-IFM0301

編著者：阮錫煌

審稿者：孫啟輝、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-IFM0301 學習指引

在你學習本單元之前，你必須熟悉下列各單元：

一、感應電爐入門：

(一)PMF-IFM0101 感應電爐原理與構造。

(二)PMF-IFM0102 感應電爐的種類及應用。

二、熔鑄材料介紹：

(一)PMF-IFM0201 認識鑄鐵材料。

(二)PMF-IFM0202 認識鑄鋼材料。

(三)PMF-IFM0203 認識非鐵金屬材料。

(四)PMF-IFM0204 認識合金材料。

(五)PMF-IFM0205 認識熔解輔助材料。

且學習本職類各單元的先後順序，可參考背面之能力目錄。假如你認為已經瞭解上列單元，請翻到第 1 頁開始學習，如果你認為無法瞭解，請依下列的指示進行學習。

- 1.你全部無法瞭解上列單元，請將本教材放回原位，並取出編號 PMF-IFM0101 開始學習，或是去請教你的老師。
- 2.你已瞭解部分單元，而其他部份不會時，則請你依編號拿取不瞭解的單元教材開始學習或是去請教你的老師。

引言

當你學過認識熔鑄材料的各學習單元，想必你已知道“鑄造”所熔鑄的材料要將其加熱熔解成液體的溫度有多高了吧！然而這些高溫金屬液體究竟要用什麼樣的器皿去盛裝呢？而這種器皿又是什麼材料做的，能在高溫中不會被燒壞呢？這就是本單元要為你介紹的“耐火材料”。

經由本單元的學習能讓你了解耐火材料的種類及功用，並能正確的選擇耐火材料應用於各種不同的場合工作。

定義

溶渣：金屬熔解時，一些氧化物析出浮於金屬液表面或沾於爐壁上，對爐壁會發生不良影響。

同素異形體：同樣的元素組成的物質，但因其原子結構排列方式不同，而產生由外觀看起來截然不同之物體。如石墨與鑽石皆是碳（C）元素構成的。

洗爐：熔解爐於熔解某一金屬後，欲改熔解另一種金屬時，其爐壁沾粘原先金屬會滲入新熔解金屬，而影響成份品質之控制，通常在更換金屬熔解的第一爐次都不採用，稱為“洗爐”。

成形鋼桶：感應爐爐襯在成形前，於爐內先裝置一圓鋼桶，俾使耐火爐襯容易成形。

偏析：耐火材料如以大小不同顆粒或顆粒與粉末聚合而成，當築爐在沖擊時造成大小顆粒或顆粒與粉末分離之現象。此現象會影響成形後爐襯之性質及功能。

學習目標

- 一、在不參考任何資料下，給你八種耐火材料，你能正確的指出五種以上用於築爐襯之耐火材料，並說出其名稱及功用。
- 二、在不參考任何資料下，給你三種金屬，個別溶解；你能正確的依所溶解金屬選用築爐襯所需的耐火材料。

學習活動

本單元之學習活動包括相關知識及實物辨識，你對耐火材料的認識與學習，可以由下列方式去學習。

一、閱讀本教材第 5 頁至第 34 頁。

二、閱讀下列參考書籍：

(一)黃章(1991 年)感應電爐用之耐火材料，鑄造月刊 19 期，高雄市，中華民國鑄造學會。

(二)黃禎烈(1995 年)感應電爐爐襯耐火材料，鑄造月刊 66 期，高雄市，中華民國鑄造學會。

(三)潘永寧(1995 年)鑄鐵之熔渣形成現象及對鑄件品質之影響，鑄造月刊 67 期，高雄市，中華民國鑄造學會。

(四)王令儀(1995 年)淺談鑄造用耐火塗料，鑄造月刊 71 期，高雄市，中華民國鑄造學會。

(五)張晉昌(1999 年)鑄造學，台北市，全華科技圖書股份有限公司。P67～P81 頁。

(六)王名增(1983 年)鑄工材料，台北市，大中國圖書公司。P7～P22 頁。

(七)劉進銘(1993 年)機械材料下冊，台北市，華興書局。P223～P224 頁。

(八)黃禎烈(1996 年)感應電爐鑄鐵爐渣對爐襯之影響，鑄造月刊 81 期，高雄市，中華民國鑄造學會。

三、向管理室領取耐火材料之樣品對照辨識。

本單元的第一個學習目標是：

在不參考任何資料下，給你八種耐火材料，你能正確的“指出”五種以上用於築爐襯之耐火材料，並說出其名稱及功用。

耐火材料

“鑄造”是將熔融的金屬注入鑄模內形成鑄件，在這過程中，所有與高溫金屬液接觸的材料，都必需使用耐火材料（Refractory materials）才不致燒壞。因此，凡在高溫中能保持其物理形狀及其化學性之材料謂之“耐火材料”，其原料來自天然礦產及人工礦產。而使用於爐襯（Furnace lining）之耐火材料，除了要具備耐高溫不會燒壞以外，尚需抵抗爐中熔渣之侵蝕。熔渣依其成份有酸性、鹼性之分，爐襯之耐火材料為避免與熔渣起化學作用，亦分為酸性、中性、鹼性三類。

一、良好的耐火材料應具備下列各項條件：

1. 在承受高溫及高荷重時不軟化。
2. 溫度產生變化時亦不發生剝落（Spalling）。
3. 在高溫時乃具有足夠的機械強度，且容積變化小。
4. 能承受金屬溶液、熔渣（Slags）溶劑（Fluxes）及各種氣體的作用。
5. 耐摩擦、刮擦等性質。

二、耐火材料之分類

耐火材料種類繁多，現在依其1.化學性質，2.用途，3.施工方式分述如下：

(一) 依據各種耐火材料的化學性質分類：

1. 酸性耐火材料（Acidic）

- (1) 氧化矽（Silica, SiO_2 ）
- (2) 氧化鋯（Zircon, $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$ ）
- (3) 耐火粘土（Fireclay, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ）
- (4) 耐火矽酸鋁（Mullite, $3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-2SiO}_2$ ）

2. 中性材料（Neutral）

- (1) 氧化鋁（Alumina, Al_2O_3 ）
- (2) 氧化鋁鉻（Alumina, Chrome, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ）
- (3) 尖晶石（Alumina based with Spinel bond, $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ ）

3. 鹼性材料（Basic）

- (1) 氧化鎂（Magnesia, MgO ）
- (2) 尖晶石（Magnesia, based with spinel bond, $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ ）

(二) 依照各種耐火材料之用途分類：

1. 耐熱材料：做為直接與熱接觸之面材（Fired brick）即工作材，如耐火磚、陶瓷棉、碳化矽、碳或石墨磚等，其質地堅硬耐摩擦。
2. 斷熱材料：具有低熱導度性質，用於面材與爐殼之間之背材，如斷熱磚、岩棉等，主要功用在於保溫，減低爐內熱量之散失。

3. 絕緣耐火材料：

石棉、雲母、硅藻土等屬之。其中石棉與雲母用於感應爐之線圈水泥與爐襯耐火材之間，除了做為絕緣、保溫功用之外，其主要功用如下：

- (1) 提供爐襯耐火材之熱脹冷縮之滑動面，避免其連結線圈耐火泥滑動，造成線圈變形。
- (2) 爐襯耐火材與線圈耐火泥之間，因有雲母片間隔，在重新築爐時舊爐襯耐火材易於拆卸，可避免傷害線圈耐火泥。
- (3) 金屬溶液萬一貫穿爐襯耐火材，如有雲母片間隔，可延緩金屬液燒壞線圈。

4. 耐火泥 (Refractory mortar)：

耐火泥主要用於砌耐火磚時，當作接縫連接使用，所以它的性質必須與耐火磚相同，通常接縫要薄且緊密才能發揮整效果。感應電爐之線圈內圓亦塗上一層耐火泥保護線圈。

耐火泥一般依硬化性可分為兩類：熱硬性 (Heat-Setting) 耐火泥及氣硬性 (Air-setting) 耐火泥。

熱硬性耐火泥在平常乾燥時接著性不佳，需在爐內俟加熱燒結後才接著；以耐火粘土為粘結劑。

氣硬性耐火泥是在室溫時硬化接著的耐火泥，其粘結劑為耐火粘土加矽酸鈉 (水玻璃) 等化學結合材料。氣硬性耐火泥的性質如表 1 (張晉昌 1999)。

表 1 氣硬性耐火泥的成分與性質

材 質	耐火度 (SK)	化學組成(%)		粒度(%)		加熱後接著強度(kg/cm ²)			主要用途
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	>0.3mm	<0.07mm	105°C	1000°C	1300°C	
高氧化鋁質	36	74.2	19.1	<1.0	>65	>30	>60	>80	熔礦爐，熱風爐等高氧化鋁質磚接縫用
	36	66.3	27.4	<1.0	>65	>15	>30	>50	
粘土質	31	36.9	56.6	<1.0	>60	>40	>60	>80	鍋爐，加熱爐及其他一般窯爐磚接縫用
	32	43.4	47.0	<1.0	>60	>15	>30	>50	
鉻—氧化鎂質	>38	Cr ₂ O ₃ 35.5	MgO 24.0	<3.0	>50	>5	>10	>30	鉻—氧化鎂質磚接縫用
碳化矽質	27	SiC+C 20	—	<5.0	>60	3	—	>15	定盤，套筒，出鋼導筒接縫用
斷熱質	32	34.5	60.2	<5.0	>60	>5	>10	—	耐火斷熱磚接縫用

5. 坩堝 (Crucible)

坩堝主要用於非鐵金屬熔化後盛裝之用，依各種不同材質分為下列三種：

- (1) 碳結合坩堝 (Carbon bonded crucible) 主要成份為碳化矽及石墨，以焦油、瀝青為粘結劑。
- (2) 粘土坩堝 (Clay-graphite crucible) 主要以粘土作為粘結劑，含高成份的石墨及部份碳化矽，經充分混練後成形，燒成製品。
- (3) 氧化物坩堝 (Oxide refractory crucible) 依化學組成不同有氧化鋁、氧化矽、氧化鎂、氧化鋯及耐火矽酸鋁。

(三) 依照耐火材之施工方式分類：

1. 乾式搗捶材料 (Dry ram)

為一種單一均勻耐火材料 (Monolithic) 完全沒有水份，作為爐襯材料之面材，築爐時，使用鋼桶配合熱凝固結合劑填充之凝固材料，有時此種材料亦可作為背材之用 (Back-up lining)

2. 濕式搗捶材料 (Wet ram)

一般含水份 3~4% 的材料作為爐襯材料，而作爐頂或修補時水份可增為 5~7%，分別使用氣凝固結合劑或熱凝固結合劑，而含磷酸之材料則需加熱以促進結合，比乾式搗材需較長的時間乾燥。

3. 可鑄性材料 (Castable)

又可稱為耐火泥，原料為乾式，要使用時再添加規定水份，則如水泥之外觀及處理方式，常用於澆鉢、流道、感應線圈內圓爐壁材料。以鋁酸鈣水泥 (Calcium Aluminate) 為結合劑。可分為如下：

(1) 傳統可鑄性材料：

為最早使用於鑄造廠之水泥，主要含 10~20% 水泥，8~14% 水份，混合後隨含水量多寡 (低水分以震動，高水分以灌注) 施工，亦可用鏟刀抹平或搗捶方式施工。

(2) 低水泥可鑄性材料：

此種低水泥材料之含水分為 5~9%，水泥 3~5%。以鋁化鈣水泥為結合劑。

(3) 極低水泥可鑄性材料：

為震動型材料，含水份 4.5~7%，水泥 2~3%，是一種混合多種結合劑，多種化學反應之結果可自行脫水乾燥。雖含有部分水泥，但只要結合劑為粘土。

4. 可塑性材料 (Plastic/Plaster)

以磷酸作為化學凝固劑，在低溫下即可塑造成形，主要用於爐嘴、爐頂或補爐材料及小澆鉢材料。

5. 塗抹式材料 (Washes/Motars)

塗抹材料 (Washes) 主要用於表面磨損處塗抹。

灰泥 (Motars) 主要用於耐火磚之接縫接合劑。

6. 噴槍式材料 (Gunning mixes)

噴槍式為單一均勻耐火材，施工最快速之方法。用於熱接觸或冷接觸面之維護材料。可分為下列三種：

(1) 傳統噴槍材料：

此種材料以粗及細耐火材混合而成，其顆粒相當粗糙約 (6F)。材料加水 8~15%，使用空壓經噴嘴噴出適當材料於需修補之表面上。通常噴材加入添加劑，以減少噴材反彈損失。

(2) 泥漿噴槍材料

此種材料加水 15~25% 後，用泵經管路至噴嘴，配合高壓噴至待修表面，泥漿噴材顆粒較細約 (20F)

(3) 特殊噴槍材料

此種材料是為某一特殊目的而製造。例如有一種噴材於高溫時，可承受金屬及溶渣沖刷，而於室溫時，則自行龜裂剝落。

以上5、6兩項亦用於砂模表面之塗模材料。各種材料之成份依不同用途，製造廠商有不同的配方及百分比，可參考廠商提供之說明書。一般常用塗抹及噴槍耐火材料之物理化學性質與用途如表2，表3 (王令儀1995)。

表2 一般耐火材料之物理化學性質

材料名稱	分子式	化學性質	熔化溫度 °C	密度 g/cm ³	線膨脹係數 α (1/°C) 20-1000°C	導熱係數 $\lambda \times 4.18\text{J}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$	
						400°C	1200°C
石英	SiO ₂	酸性	1713	2.7	30-43×10 ⁻⁶	0.02	
電熔剛玉	Al ₂ O ₃	中性	2050	4.0	8.6×10 ⁻⁶	0.03	0.0126
高嶺土	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O	酸性	1670-1710	2.6	5.3×10 ⁻⁶		0.005
馬來石	3Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	酸性	1810	3.03	4.5×10 ⁻⁶	0.0029	0.037
矽線石	Al ₂ O ₃ · SiO ₂	弱酸性	1545	3.25	3.2-6×10 ⁻⁶		
鋯粉	ZrSiO ₄	弱酸性	1775	4.5	5.1×10 ⁻⁶		
氧化鎂	MgO	鹼性	2800	3.57	13.5×10 ⁻⁶	0.0130	0.00
雲母	Ka ₂ (OH,F) ₂ Si ₃ AlO ₁₀		700-1100	2.3			
滑石	Mg ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂		800-1350	2.7			
石墨	C	中性	>3000	2.25	2×10 ⁻⁶		0.3667
鉻鐵礦	FeO · Cr ₂ O ₃	中性	2180	3.8-4.1	8×10 ⁻⁶		0.02

表 3 不同鑄件材料常用之耐火填料

材料名稱 鑄件材質		鋳粉	白色 剛玉粉	棕色 剛玉粉	鎂橄欖 石粉	氧化鎂	鋁礬土	矽石粉	鱗片 石墨粉	土狀 石墨粉	滑石	白雲石
鑄	耐熱鋼 不銹鋼	✓	✓	✓	—	—	○	—	—	—	—	—
	高錳鋼	○	—	—	✓	✓	—	—	—	—	—	—
鋼	碳鋼	✓	○	✓	—	—	✓	✓	—	—	—	—
鑄	灰口鑄鐵	○	—	—	—	—	○	○	✓	✓	✓	—
	球墨鑄鐵	○	—	—	—	—	○	✓	✓	✓	✓	—
	可鍛鑄鐵	○	—	—	—	—	○	✓	✓	✓	✓	—
鐵												
銅合金		○	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
鋁合金		○	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
鎂合金		—	—	—	✓	✓	—	—	—	○	—	—

註：“✓”常用；“○”不常用；“—”不用。

7.耐熱纖維 (Fibers)

它的形狀有呈板、紙、繩、棉花狀等，通常為氧化鋁及氧化矽之玻璃化混合物，依用途不同而配製不同重量比之氧化鋁及氧化矽之含量。熔點從 540~1650°C，常用於感應爐爐體線圈及對地之絕緣。

8.磚 (Bricks)

用於熔爐之爐壁，在鑄造業分為耐火磚及斷熱磚，耐火磚直接與熔液及熔渣接觸，通常在磚上刻印上如 (SK30) 字樣，是表示該磚之耐火度，SK 是以 Seger Keger 的第一字母表示；號數愈大者，耐火度愈佳，亦即軟化的溫度愈高。如表 4 耐火度號數與軟化溫度對照值。

表 4 耐火度號數與軟化溫度 °C

SK 號數	軟化溫度	SK 號數	軟化溫度	SK 號數	軟化溫度	SK 號數	軟化溫度
15	1435	26	1580	32	1710	38	1850
16	1460	27	1610	33	1730	39	1880
17	1480	28	1630	34	1750	40	1920
18	1500	29	1650	35	1770	41	1960
19	1520	30	1670	36	1790	42	2000
20	1530	31	1690	37	1825		

耐火磚質地堅硬耐刮擦；斷熱磚質地鬆軟，多孔質保溫效果良好，用於耐火磚背面與爐殼之間。耐火磚可配合熔爐需求，燒成各種形狀及材質；耐火磚依材質可分為酸性、中性、鹼性三類。

(1)酸性耐火磚

酸性耐火磚主要以氧化矽及氧化鋁之天然產物所組成爲原料而燒成之磚，以矽石磚爲其代表。

矽石磚是非常古老的耐火材料，主要成份爲石英（氧化矽），其天然之產狀爲砂岩、石英岩及石英，而用作耐火材料者，爲砂岩或石英岩其價格便宜，耐酸性爐渣侵蝕，但不耐鹼性爐渣侵蝕，隨著溫度變化具有許多不同的結晶型態，各有不同的熱膨脹係數，在 200~700°C 應緩慢加熱以減少崩落的危險。氧化矽的純度愈高耐火度愈大，各國的矽石磚之化學成份與耐火度之關係如表 5（張晉昌 1999）所示。

表 5 各國的矽石磚之化學成份及其耐火度

國 別	化 學 成 分 (%)							耐火度 (SK)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	其 他	
英 國	97.94	0.61	0.94	0.18	0.02	0.13	0.44	34 ⁺
日 本	98.02	0.72	0.52	0.06	0.01	0.20	0.16	35 ⁻
中 國	96.90	1.48	0.32	微量	0.26	0.27	0.65	35 ⁻
德 國	97.80	1.80	0.40	—	0.10	微量	—	35
美 國	99.17	0.45	0.06	—	0.02	0.02	0.28	36 ⁻

(2)中性耐火磚

中性耐火磚以鉻磚、碳磚爲其代表。鉻磚是以鉻鐵礦（FeO·Cr₂O₃）爲主體之耐火物，不易被酸性、鹼性爐渣侵蝕，爲煉鋼爐襯材料。因化學性質爲中性，可置於酸性及鹼性耐火磚中間，阻止其接觸產生化學反應，鉻磚的化學成份及性質如表 6（張晉昌 1999）所示。

表 6 鉻磚的化學成份及性質

國別	化 學 成 分 (%)						比重	軟 化 點
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃		
英國	8.5	11.1	21.4	微量	19.0	39.8	3.99	(荷重 3.5kg/cm ²) 1350°C
日本	7.6	24.5	14.2	0.2	22.4	30.8	3.79	(荷重 2kg/cm ²) 1450°C

碳磚以焦炭為原料，亦可以石墨及粘土之混合物製造之。其荷重軟化溫度比鉻磚高，如用於隔離空氣，或在還原環境中時，不為空氣氧化而消耗，且不為熱力所損，不受爐渣侵蝕或溫度驟變之影響。但熔液如為鐵類材料時，在液態時會吸收碳份而改變材料性質，需多加注意。

(3) 鹼性耐火磚

鹼性耐火磚以鎂磚為其代表。鎂磚是以氧化鎂 (MgO) 為主，氧化鎂之耐熱力達 2800°C ，其抗鹼性亦強，且不受炭質還原作用之影響，氧化鎂是由菱苦土為碳酸鎂 (MgCO_3) 或海水氧化鎂 (氫氧化鎂) ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) 燒成，氧化鎂又常伴氧化鈣 (CaO) 共生於碳酸鹽中，故又稱為白雲石。鎂磚不能直接與矽磚相接觸，否則會受到侵蝕而熔毀，如不得已需另置中性耐火磚或耐火土於兩者之間。各種氧化鎂磚的化學成份及性質如表 7 (張晉昌 1999) 所示。

表 7 各種氧化鎂磚的化學成份及性質

種類		化學成份					氣孔率 %	荷重 軟化點 $^{\circ}\text{C}$	1250 $^{\circ}\text{C}$ 之強度 kg/cm 2
		MgO	CaO	SiO $_2$	Fe $_2$ O $_3$	Al $_2$ O $_3$			
不燒成品	No.1	89.86	1.62	5.64	1.39	1.30	12.9	1506	—
燒成品	No.2	91.23	1.22	4.59	1.44	1.36	17.2	1553	114
	No.3	92.52	2.38	0.74	3.99	0.31	11.4	1650	322
	No.4	95.88	0.73	2.50	0.29	0.53	18.6	1513	85
	No.5	96.70	0.70	1.92	0.22	0.29	18.6	1620	78
高溫燒成品	No.6	98.41	0.98	0.22	0.08	0.08	16.0	>1650	210
	No.7	97.56	1.23	0.55	0.35	0.28	16.0	>1650	305
使用電融燒成品	No.8	98.37	0.91	0.51	0.20	0.15	18.7	>1650	143
燒成焦油含浸品	No.9	97.49	1.25	0.63	0.42	0.25	2.5	>1650	260

三、耐火材料之添加劑及結合劑之材質

耐火材料在使用中加入許多添加劑及結合劑，以獲得產品之某些特性。其包括氧化鉻、碳化矽、石墨、反絮凝劑、硼酸、氧化硼、矽酸鈉、磷酸、鋁酸鈣水泥等。

(一)添加劑

1.氧化鉻 (Chromium Oxide)

氧化鉻是由鉻鐵礦製成之人造原料。氧化鉻之比重 5.0g/cc，其顆粒非常細小 (325F)，具亮綠顏色。純氧化鉻的熔點約 2260°C。耐火材料添加了氧化鉻可得到如下優點：

- (1)氧化鉻極高耐火度可增加耐高溫。
- (2)氧化鉻不起化學作用，可減少對環境侵蝕反應。
- (3)氧化鉻可稍增加氧化鋁混合材之強度。

2.碳化矽 (Silicon carbide)

碳化矽 (SiC) 乃人工製造之材料，係以石英砂於高溫下，經碳之還原而成；生成之碳化矽具有僅次於鑽石之硬度，適於作研磨材料，結晶之顏色為淺綠至綠色，具強抗酸力，連氫氟酸亦不能使之溶解，對鹼性侵蝕之抗力亦佳。碳化矽具有優良化學安定性，低熱膨脹，所以常作為耐火材料之添加劑，它在氧化環境或開放之空間加熱，只能耐 1300°C 之溫度，但如在無化學分解作用之空間時，其可耐 2200°C 至 2245°C 之間。

3.石墨及碳 (Graphite/Carbon)

石墨作為耐火材料之添加劑是因為它具高熔點 (約 3500°C)，優良之抗熱震性，對熔融金屬及爐渣具抗蝕性及非潮濕性。

4.反絮凝劑 (Deflocculants)

此種材料常加入可鑄性材料，以在低水份含量，增加可鑄性材料流動而分離耐火材料之聚合物。

(二)結合劑

依凝固方式可分為 1.熱凝固結合劑 (Heat set)，2.氣凝固結合劑 (Air set) 3.化學凝固結合劑 (Chemical set) 三類。

1.熱凝固結合劑：加熱後凝固，依加熱溫度不同，可分為低溫、中溫、高溫型。

- (1) 硼酸及氧化硼 (Boron acid & Boron oxide) 以上兩種結合劑依熔爐澆注溫度選擇合適之百分比如表 8 所示。氧化硼 (B_2O_3) 及硼酸 ($B_2O_3 \cdot 6H_2O$) 的含量高時，有助於耐火材料燒結，但會降低耐熱溫度。

表 8 依澆注溫度選擇合適結合劑%

熔爐平均澆注溫度	氧化硼 %	硼酸 %
1370°C 以下	1.5	2.0
1370~1430°C	1.3	1.8
1430~1480°C	1.2	1.7
1480~1540°C	1.0	1.6
1540~1590°C	0.8	1.5

(2) 磷酸(Phosphoric acid)磷酸為氧化鋁系材料之結合劑。在低溫 345°C 時即可形成相當強結合，而後隨溫度變化繼續增加。磷酸缺點為具吸潮性，可從大氣中吸收水份，儲存時需注意乾燥環境。

2. 氣凝固結合劑：可以在室溫中凝固，如粘土、水玻璃（Water glass）矽酸鈉（Sodium silicate）可分為氣凝固及熱凝固結合劑。矽酸鈉易溶於水，通常叫做水玻璃。可通入二氧化碳（CO₂）或在空氣中乾燥後，水玻璃變成非常硬。沒稀釋之矽酸鈉可在較高溫作熱凝固劑。

3. 化學凝固結合劑：因化學反應而凝固，如水硬水泥（Hydraulic）。鋁酸鈣水泥（Calcium aluminate cement）（CaO·Al₂O₃）為化學凝固結合劑，或稱為水硬結合劑。鋁酸鈣水泥由化學成份及氧化鐵含量不同而有各種從黑色至白色的色澤，這種水泥作為可鑄性材料（耐火混凝土）之結合劑。鑄造後，鋁酸鈣結合可鑄性材料而開始變硬，依不同種類加適量水份，需費 1 至 6 小時，以達到初期凝固；成型鋼桶在最後凝固時即可取出，需要再費 3 至 12 小時硬化。

四、耐火材料之材質。

1. 氧化矽（Silica）

用於耐火材料工業之氧化矽，分別為結晶體（石英）（Quartz）及熔融氧化矽兩種，石英氧化矽最被廣泛使用。石英氧化矽隨溫度之變化，具有同素異形體之形態：如 α 石英、 β 石英、鱗石英（Tridymite）、白矽石（Cristobacite）。常溫下之 α 石英呈穩定狀態直到 573°C，超過此溫度，則轉換為 β 石英，超過 870°C 時，呈 15% 永久膨脹而密度相對減少，由 β 石英（2.65g/cc）永久轉換為鱗石英（2.30g/cc）。超過 1470°C 後，又膨脹 4%，由鱗石英轉換為白矽石（2.21g/cc）。石英在各種溫度的結晶形態，它們相互間都是可逆的，且轉移迅速。

2. 鋯英石（Zircon）及氧化鋯（Zirconia）

鋯英石為矽酸鋯，化學式為（ZrSiO₄），大部份鋯英石礦生產於南非、澳

洲、美國佛羅里達州。鋯英石通稱鋯砂，通常為 50F 產品。鋯砂優良特性，包括極低熱膨脹（可逆膨脹）及平均熱導度為 $1.984 \text{ Kcal-m} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ (850°C)。但鋯砂在超過 1650°C 溫度時，會分解為氧化鋯 (ZrO_2) 及氧化矽 (SiO_2)，也就是說在鑄造時超過 1650°C ，則會加速侵蝕材料。鋯砂可作電爐襯材料、砂心及精密鑄造之殼模砂。

3. 粘土及火石 (Fireclay & Flint)

粘土礦物是由不同之火成岩，經風化變質以後，成為細粒土質材料，在濕潤下具有粘性。粘土為矽酸鋁 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 原料，分別為輕型及耐火型兩種粘土。耐火型粘土又可分為硬型及軟型粘土。

火石有相當低熱導度為 $1.116 \text{ Kcal-m} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ (1500°C)，可以成為製作磚及單一均勻耐火材之適當材料。標準火石之化學成份為氧化矽 42~50%，氧化鋁 34~41%，二氧化鈦 1.8~2.1%，氧化鐵 0.9~1.6%，其他 0.5~1.5%。

4. 球粘土 (Ball clay)

球粘土為一軟型粘土，常用於耐火材料產品中之粘土結合劑，具有非常好彈性、生壤強度、乾燥強度。

5. 天然矽酸鋁或藍晶石 (Kynite)

天然矽酸鋁為 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$) 是一種常使用耐火材之原料，其比重為 3.6g/cc。在 1504°C 時會分解成耐火矽酸鋁 (Mullite) 及氧化矽。伴隨此分解同時會產生永久膨脹 (11~14%)

6. 耐火矽酸鋁 (Mullite)

耐火矽酸鋁，分為鍛燒型及熔化型，為一種人造矽酸鋁，化學式為 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)。耐火矽酸鋁之比重約 3.5g/cc，而氧化鋁含量從 45%~70%，具相當低熱導度為 $1.24 \text{ Kcal-m} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

鍛燒之耐火矽酸鋁，是在溫度 1480°C 轉窯內，使用鋁氧石或氧化鋁，混合粘土一起燒結製成。

熔化之耐火矽酸鋁，是在溫度 2200°C 以上，混合耐火矽酸鋁原料製成；再冷卻此耐火矽酸鋁液體，經輾碎變成原料，供鑄造材料用。熔化之耐火矽酸鋁通常含有 70% 之氧化鋁。

7. 鋁氧石 (Bauxite)

鋁氧石為含水之氧化鋁，含有各種成分如氧化鐵、二氧化鈦及氧化矽。鋁氧石通常用來製造人造氧化鋁、耐火水泥，及鋁金屬。常用於金屬熔解工業之高耐火度鋁氧石，是用鍛燒而除去結構水製成。主要產地有蓋亞那、中國、美國南部。主要化學成份為氧化矽 6.5%。氧化鋁 88%，氧化鎂 2%，二氧化鈦 3.3%，其他 0.2%。

8. 氧化鋁 (Alumina)

氧化鋁由於具高熔點 (2037°C) 而常用於耐火工業。可分為鍛燒、列管加熱、熔化及泡沫等氧化鋁；所有氧化鋁皆為人造方式。

(1) 鍛燒氧化鋁 (Calcined alumina)

鍛燒氧化鋁之純度相當高，大於 99%，此種材料為雪白色，且顆粒非常細，鍛燒溫度在 1093°C 至 1482°C 製成非常活性氧化鋁，通常用於磷酸結合之耐火材料。主要製造方法為拜耳 (Bayer) 製程，即轉換鋁氧石為人造氧化鋁。

(2) 列管加熱氧化鋁 (Tabular alumina)

列管加熱氧化鋁具有非常高之純度，大於 99.5%，此種氧化鋁為白色，含粗及細之氧化鋁顆粒聚合體；製造時加熱至接近氧化鋁熔點，即可產生非常高密度片狀結晶，再輾碎成為耐火原料。由於高純度、耐火度及高耐侵蝕度，成為金屬熔解工業中優良材料。

(3) 熔化氧化鋁 (Fused alumina)

A. 棕色熔化氧化鋁

這種深棕色，近乎黑色材料是由電弧爐熔化已鍛燒之氧化鋁，因價格便宜，常被使用於耐火材料及砂輪材料上。在生產時，是將氧化鋁熔液倒入塗有石墨之大型模內而鑄造成的。冷卻後輾成工業上所需之尺寸。

B. 白色熔化氧化鋁

此高純度氧化鋁，大於 99.5%，是拜耳製程熔化而製成的。由於高成本及粗中空顆粒，白色熔化氧化鋁僅作為備份耐火材料。

C. 粉紅熔化氧化鋁

與白色熔化氧化鋁相同，只多添加 0.2~2% 之氧化鉻。

學習評量一：

請不要參考資料或書籍，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

(一)是非題：對的打「○」不對的打「×」 80%

- () 1.凡能在高溫環境中，保持其物理形狀及其化學性質之材料，謂之耐火材料。
- () 2.其備高溫不會被燒壞之材料，即可被選為爐襯之耐火材料。
- () 3.氧化鎂 (MgO) 是屬於中性之耐火材料。
- () 4.斷熱材料具有高熱導度性質，主要用於保溫，減低爐內熱量之散失。
- () 5.氧化矽 (SiO₂) 是屬於酸性之耐火材料。
- () 6.耐火泥主要用於砌耐火磚時，當作接縫連接使用，通常塗於接縫要厚且緊密才能發揮整體效果。
- () 7.坩堝最適用於非鐵金屬熔解後盛裝之用。
- () 8.可鑄性耐火材料之原料為乾式，在築爐時，需加水調合再使用。
- () 9.耐火磚上刻印之 SK32 等字樣是表示該磚之耐火度，其號數愈大者表示耐火度愈佳。
- () 10.硼酸及氧化硼等耐火材料結合劑，其含量愈高時，除了有助於耐火材料結合外，亦可提高耐熱溫度。

(二)問答題： 20%

感應爐爐襯內石棉與雲母片，除了做為絕緣、保溫功能之外尚有那些作用？

學習評量一答案：

你的答案應該包括下列要點

(一)是非題：

1. (○)
2. (×) 作為爐襯之耐火材料，除了要具備高溫不被燒壞之外尚需耐爐渣浸蝕。
3. (×) 鎂化鎂 (MgO) 是屬於鹼性之耐火材料。
4. (×) 斷熱材料應具低熱導度性質，才能保溫及避免熱量散失。
5. (○)
6. (×) 砌耐火磚之接縫塗耐泥應薄而緊密，才能發揮整體效果。
7. (○)
8. (○)
9. (○)
10. (×) 硼酸及氧化硼用作耐火材料結合劑，其含量愈高雖有助於耐火材料結合，但是會降低耐熱溫度。

(二)問答題：

1. 提供爐襯耐火材料熱脹冷縮之滑動面，避免其連結線圈耐火泥滑動，造成線圈變形。
2. 爐襯耐火材與線圈耐火泥之間，因有雲母片間隔，在重新築爐時，舊爐襯之耐火材易於拆卸，可避免傷害線圈耐火泥。
3. 金屬熔液萬一貫穿爐襯耐火材，如有雲母片間隔，可延緩金屬液燒到線圈，爭取時間做應變措施。

恭喜你通過本單元的第一個學習目標，請繼續學習第二個學習目標。加油！

本單元的第二個學習目標是：

在不參考任何資料下給你三種金屬，個別熔解，你能正確的依所熔解金屬，選用築爐所需之耐火材料。

學過本單元的第一個學習目標，想必你對耐火材料的種類、性質、用途有一定程度的了解，接著本單元學習目標將告訴你，如何將它應用於在築爐時，爐襯材料的選擇方面。

爐渣

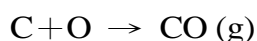
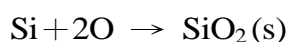
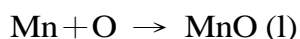
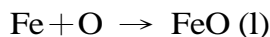
以感應電爐熔解各種金屬時，金屬液氧化是無法避免的，當金屬液氧化時，不可熔的氧化物、硫化物或矽化物將析出或漂浮於金屬液表面；熔解溫度愈低，形成的爐渣愈多，通常爐渣會與爐襯產生反應，而爐襯損耗最嚴重的區域，一般即為金屬液面爐渣聚集之處。因此築爐襯時，選用耐火材與爐渣的相容性是非常重要的。本單元針對爐渣的形成、爐渣對爐襯的影響、常用爐襯的耐火材料做一番探討。

一、爐渣的形成：

以熔解鑄鐵為例，對一位有長期操作感應爐經驗者而言，相信會觀察到一個現象，那就是當鑄鐵配料剛完全熔化後，仍處於低溫狀態時（如1250～1400°C），溶液表面會佈滿爐渣。當把爐渣清除後，過不久爐渣又再度產生佈滿液面。當把熔液溫度慢慢提升時，仔細觀察熔液表面，可以發現到表面的爐渣逐漸變成薄膜（Slag film）且此薄膜面積逐漸縮小，最後消失。當熔液溫度約在 1470°C 以上時，溶液表面變得非常清淨，且溶液顏色隨著溫度升高而愈加明亮。如把熔液由高溫逐漸降低，原本清淨的熔液表面又逐漸出現爐渣薄膜，隨後，出現似硬殼狀之渣（Crusty slag）且爐渣量愈來愈多。但溫度更低時，爐渣之流動性反而增高，而變為流動性渣。上述爐渣形成現象隨著熔液溫度之昇降而反覆持續進行。

以下簡略說明上述爐渣形成及變化之原理：

爐渣的主要成份是氧化物（Oxides）。對鑄鐵而言，其主要成份為 Fe 鐵、C 碳、Si 矽、Mn 錳、P 磷、S 硫，形成爐渣的氧化物（Oxidations）主要包含：



上述氧化反應受到溫度的影響極大，此可以圖1（潘永寧1995）自由能（ ΔF ）—溫度（T）圖來說明。根據熱力學原理，當一反應之 ΔF 為負值時，該反應屬於自發反應（spontaneous reaction），且絕對值愈大者，反應傾向愈大。由圖1可知 Fe、Mn 和 Si 氧化反應之 ΔF —T曲線其斜率均為負值，但碳（C）則為正值，此可顯示在較低溫時，Fe、Mn 和 Si 之氧化反應傾向極強，

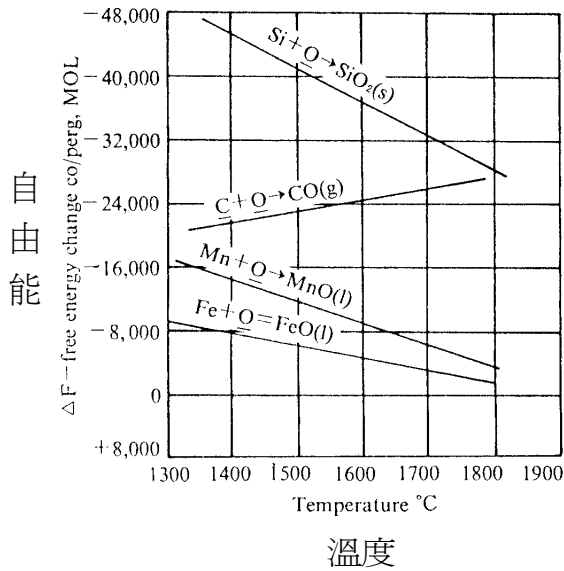


圖 1 Fe、Mn、Si 和 C 之氧化反應 自由能與溫度之關係

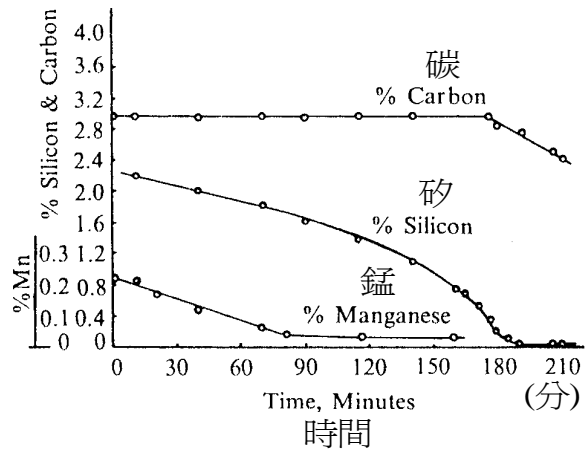
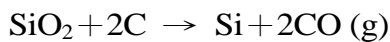
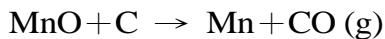
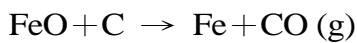


圖 2 鑄鐵熔液保溫在 1300°C，並將空氣以 0.15cfm 速率吹在熔液表面之情況下，熔液成份隨時間之變化情形

而 C 之氧化反應傾向則較弱。隨著熔液溫度之升高，Fe、Mn 和 Si 之反應傾向逐漸減弱，但 C 之氧化反應傾向則愈來愈強。因此，當熔液保持在低溫時，可以在熔液表面觀察到爐渣，其主要係由 FeO、MnO 和 SiO 所組成的。在此情況下熔液中之 Si 和 Mn 含量因氧化而逐漸降低，但 C 含量則幾乎不受影響如圖 2 (潘永寧 1995)所示。當熔液溫度升高時， $C + O \rightarrow CO(g)$ 之氧化反應逐漸增強，氧化反應所需的氧除了大部份來自大氣中外，熔液表面之爐渣(即 FeO，MnO，和 SiO_2) 亦是一個來源。因此，爐渣會發生下列還原反應 (reduction reactions) 如圖 3 (潘永寧 1995)所示。



原本存在於熔液表面之爐渣 (FeO、MnO、 SiO_2) 逐漸被 C 還原而消失。另一方面，亦會產生出氧化氣體— CO，惟此 CO 氣體無法用肉眼觀察到。所以當熔液維持在高溫狀態時，C 之氧化反應阻絕了 Fe、Mn、Si 之氧化反應，因此溶液表面保持非常清淨。此時，熔液中之 Si 和 Mn 含量之變化極微 (或稍增)，但 C 含量則持續發生氧化，溶液表面會不停的冒出黑灰色圓點後，隨即擴大消失，此即碳在燒失現象，如圖 4 (潘永寧1995)所示。

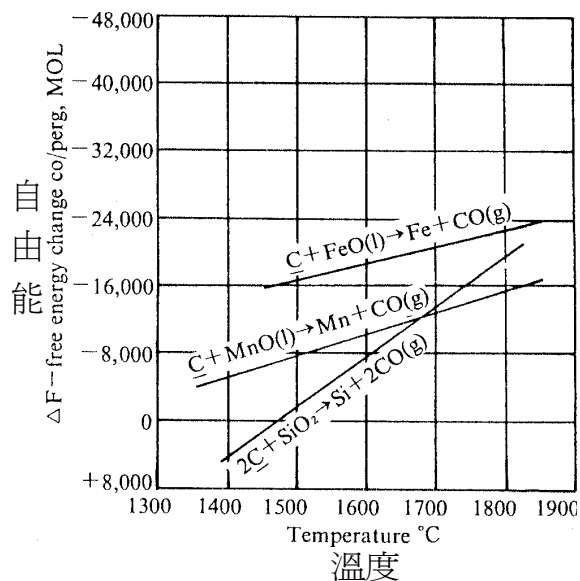


圖3 FeO、MnO、SiO₂之還原反應
自由能與溫度之關係

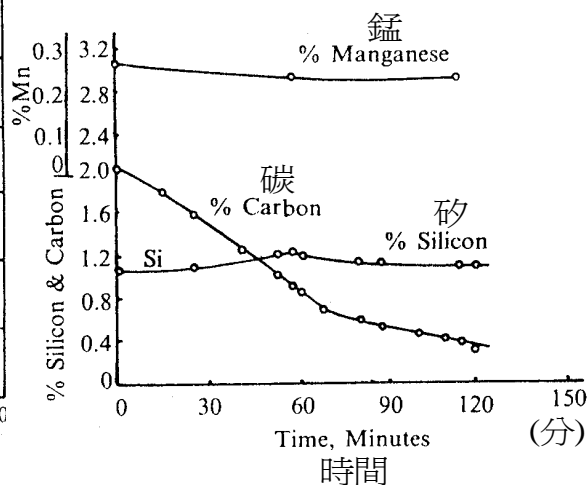


圖4 鑄鐵熔液保溫在 1552°C，並
將空氣以 0.15cfm 速率吹在
熔液表面之情況下，熔液成份
隨時間之變化情形

由圖3可知，上述三還原反應之平衡溫度分別為：

FeO：1200°C

MnO：1204°C

SiO₂：1466°C

一般而言，熔液溫度在1430~1480°C之間時，爐渣及 CO 量最少。

當溶液溫度由過熱溫度（Superheating）逐漸降低時，Fe、Mn 和 Si 之氧化反應又逐漸增強，而發生再氧化反應（Reoxidation reaction），此時熔液表面又再度形成爐渣。此爐渣在較高溫時，是以 SiO₂ 之固態渣為主，而在低溫時，則以 FeO+MnO 之流動性渣為主。

由圖5~11(潘永寧1995)顯示鑄鐵液在大氣下，溶液表面狀況隨溫度變化之情形：

圖 5 溫度在 1280°C 時，溶液表面佈滿爐渣（圖中白色球狀顆粒）。

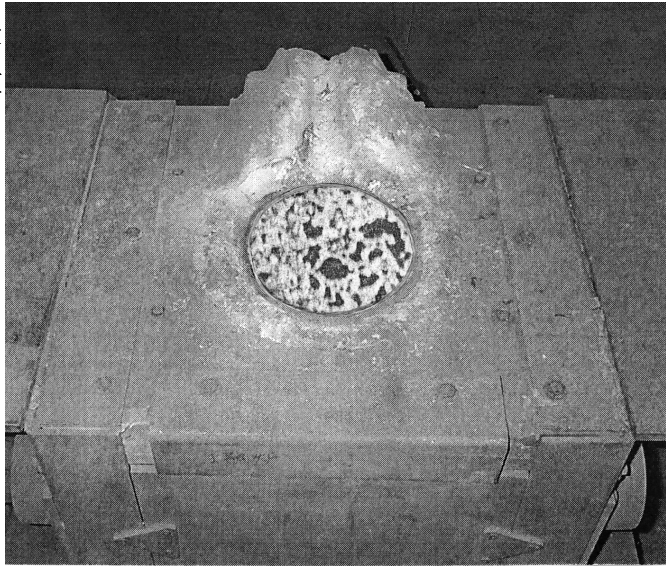


圖 5 1280°C

圖 6 溫度在 1310°C 時，溶液表面爐渣已漸細小且減少。

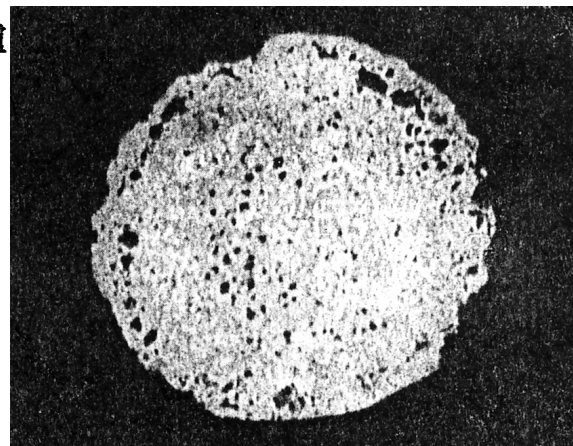


圖 6 1310°C

圖 7 溫度在 1340°C 時，熔液表面之爐渣變成薄膜狀。中間帶點裂紋。

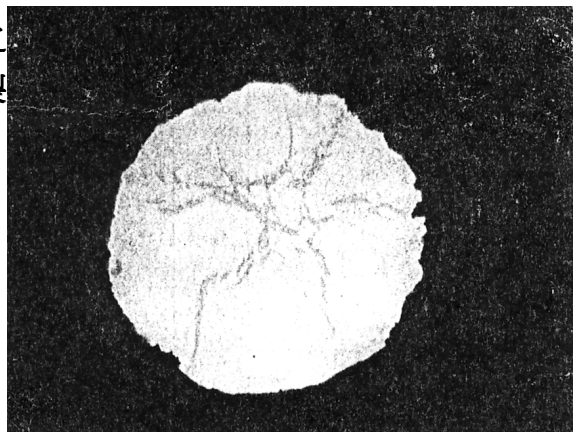


圖 7 1340°C

圖 8 溫度在 1450°C 時，熔液表面之爐渣隨溫升高而逐漸消失。

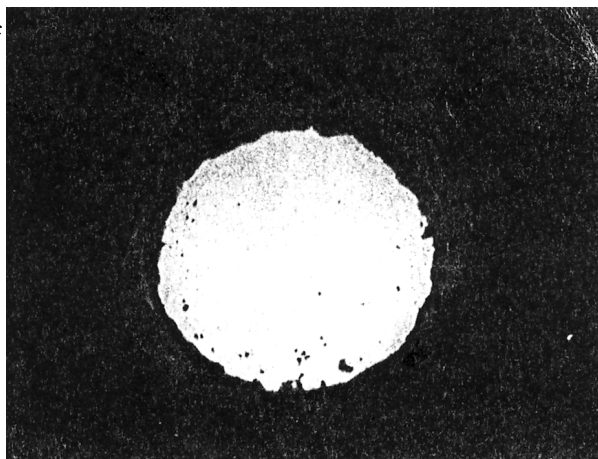


圖 8 1450°C

圖 9 溫度在 1490°C 時，熔液表面幾乎無爐渣，非常清淨明亮。

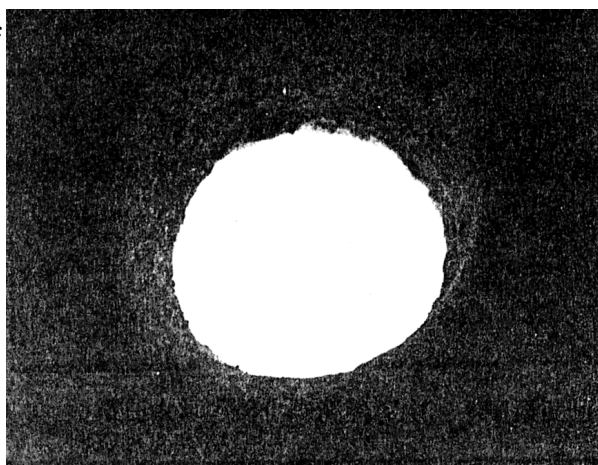


圖 9 1490°C

反之，當熔液由過熱溫度逐漸下降時，於 1490°C 已可發現小區域之爐渣薄膜在熔液表面形成，如圖10所示，且此薄膜面積隨著溫度之降低而逐漸擴大如圖11所示，當溫度降至 1400°C 時，熔液表面又再度佈滿爐渣。

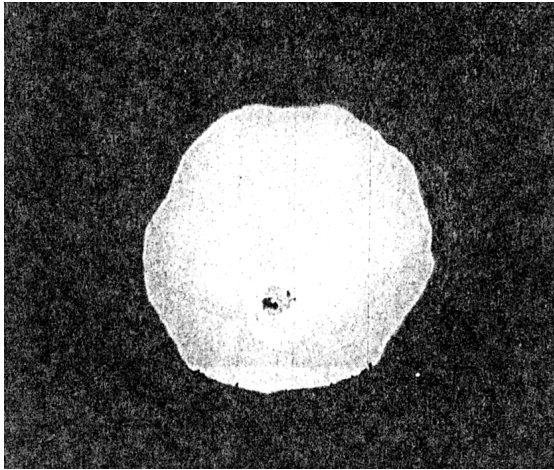


圖 10 1490°C

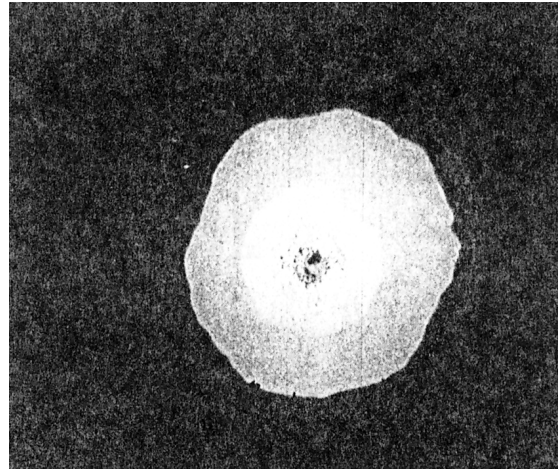


圖 11

二、爐渣對爐襯的影響

前節已談到爐渣會與爐襯發生反應，欲減少爐襯之損耗，須先了解爐渣之化學成份，爐渣成份可以下述之氧化物表示（黃禎烈1996）：

酸性 ← P_2O_5 , B_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , FeO , PbO , CuO , Na_2O , MgO , MnO , CaO → 鹼性。

由爐渣氧化物的成份，可幫助了解其為酸性渣、鹼性渣或中性渣，此對如何選擇具化學相容性的爐襯材料極為重要。當爐襯材料與爐渣具化學相容性時，爐襯之損耗將可減少。

例如，以感應電爐溶解灰口鑄鐵時，爐渣通常為含 60~80% SiO_2 的酸性爐渣，因此，以 SiO_2 為主的耐火材料與之最具化學相容性；當合金鑄鐵添加較多的合金時，爐渣的酸鹼度會由酸性向鹼性方向移動，因此爐襯材料可考慮由 SiO_2 為主的酸性爐襯改為以 Al_2O_3 為主的中性爐襯。

感應電爐爐渣的酸鹼度可由「V-ratio」來定量表示：

V-ratio = 鹼性成份含量之和 / (酸性成份 + 中性成份含量) 之和

$$\text{V-ratio} = (\% \text{MgO} + \% \text{CaO} + \% \text{MnO} + \% \text{FeO}) / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{B}_2\text{O}_3 + \% \text{P}_2\text{O}_5 + \% \text{TiO}_2)$$

當 V-ratio > 1，爐渣視為鹼性

當 V-ratio = 1，爐渣視為中性

當 V-ratio < 1，爐渣視為酸性

當爐渣的酸鹼性決定之後，即可選用相同酸鹼性的爐襯材料，在此建議鑄造廠每3個月測試一次爐渣成份，表9可供參考。一些標準爐襯材料如表10所示。

表9 感應爐溶解鑄鐵及爐渣之化學組成表

灰口鑄鐵		可鍛鑄鐵		球墨鑄鐵	
鐵水成份		鐵水成份		鐵水成份	
碳(C)	2.5-3.8%	C	2.0-2.7%	C	3.4-3.7%
矽(Si)	1.5-2.6%	Si	0.9-1.7%	Si	1.7-2.0%
錳(Mn)	0.5-1.0%	Mn	0.2-1.3%	Mn	0.4-0.8%
硫(S)		S	0.05-0.18%	S	0.02Max.
磷(P)		P	.1%Max.	P	0.10Max.
爐渣成份		爐渣成份		爐渣成份	
SiO ₂	60.0-80.0%	SiO ₂	45.5-55.0%	SiO ₂	40.0-55.0%
Al ₂ O ₃	0.1-10.0%	Al ₂ O ₃	8.0-15.0%	Al ₂ O ₃	10.0-20.0%
MnO	0.1-10.0%	MnO	5.0-25.0%	MnO	5.0-15.0%
FeO	5.0-10.0%	FeO	10.0-35.0%	FeO	10.0-20.0%
MgO	T-5.0%	MgO	T-5.0%	MgO	T-10.0%
CaO	T-5.0%	CaO	T-5.0%	CaO	T-5.0%

FeO, MnO 造成耗損 *MgO%視球墨鑄鐵回爐料添加量而定

表10 標準的爐襯材料之化學組成表

SiO ₂ 爐襯材料		化學組成			
Silica(SiO ₂)		99.2%			
Alumina(Al ₂ O ₃)		0.5%			
Iron Oxide(Fe ₂ O ₃)		0.1%			
Others		0.2%			
硼酸或硼砂粘結劑的添加量由操作溫度決定，同時亦影響最終的燒結溫度					
Al ₂ O ₃ 爐襯材料		化學組成			
Mullite Hot Face		Spinel Hot Face		Chrome Alumina Solid Solution	
Al ₂ O ₃	94.0%	Al ₂ O ₃	93.0%	Al ₂ O ₃	87.0%
SiO ₂	4.0%	SiO ₂	.6%	SiO ₂	1.8%
TiO ₂	1.6%	MgO	3.9%	Cr ₂ O ₃	7.5%
Fe ₂ O ₃	0.3%	Fe ₂ O ₃	0.3%	TiO ₂	3.3%
Na ₂ O	0.1%	TiO ₂	1.7%	Fe ₂ O ₃	0.3%

最終的燒結溫度須高於 (1593°C)

以感應電爐溶解鐵水時，爐渣的成份 FeO ， MnO 及 C 可視為造成爐襯損耗之成份； MgO ， Al_2O_3 ， CaO ， SiO_2 可視為造成爐襯堆積的成份。凡爐渣主要成份為 SiO_2 ，不論爐渣是因金屬氧化或爐襯沖蝕所造成，此高 SiO_2 含量皆代表了其酸性渣的特質，因此可選用酸性或中性爐襯材料，若再考慮經濟性，則酸性的 SiO_2 爐襯最為適合。但當鑄鐵溶解添加較多的合金時，可考慮由酸性爐襯改為中性爐襯。

三、常用的爐襯耐火材料

一般所使用的爐襯耐火材料依其酸鹼度可分為三種：

- (一)鹼性爐襯：如氧化鎂 (MgO)、尖晶石 ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ 化合物)。適用於鋼金屬。
- (二)酸性爐襯：如氧化矽 (SiO_2)、富鋁紅柱石 ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$)。適用於鑄鐵。
- (三)中性爐襯：如氧化鋁 (Al_2O_3)。適用於銅、鋁、合金鋼金屬。

上述五種耐火材料之特點說明如下：

1. 氧化鎂 (MgO)：

- (1)熱膨脹係數高，如圖 12，反覆加熱、冷卻後產生裂縫，在不連續操作的過程中容易損害，通常加入硼酸來改善其性質。

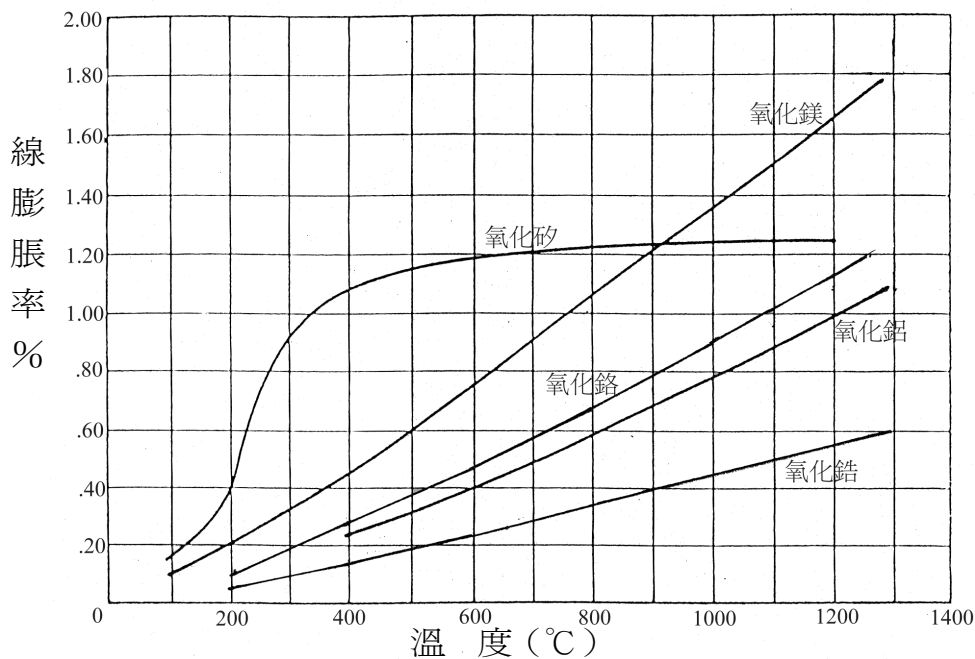


圖 12 不同耐火材料之膨脹係數

- (2)熔融的金屬液會滲入裂縫中，當下一爐次要溶解不同爐料之前，必須先洗爐，以防止裂縫之金屬重新回熔爐內而污染金屬的品質。
- (3)具有高熔點 (2800°C)，適於連續操作之溶解爐。
- (4)對鹼性爐渣具有最大的耐侵蝕性，除非 SiO_2 含量很高，否則不容易被侵蝕。

(5)熱傳導性高，降低溶解效率。

2.尖晶石 ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ 化合物)：

(1)氧化鋁及氧化鎂可形成尖晶石結構，含 70% MgO ，30% Al_2O_3 時，加熱時體積會膨脹，可使裂縫復合而減少金屬液滲透的危險。

(2)對許多氧化物具高度的耐蝕性。

(3) MgO 含量為 65~94%，可廣泛應用於碳鋼，低合金鋼及不銹鋼。

(4)價格貴。

3.氧化矽 (SiO_2)：

(1)價格便宜。

(2)耐酸性爐渣侵蝕，但不耐鹼性爐渣侵蝕。

(3)熔點較低 (1713°C) 耐熱性較差。

(4)由圖 12 可知其在 200~500°C 之間膨脹迅速，在此期間加熱應緩慢避免剝落。

4.富鋁紅柱石 ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 化合物)：

(1)熱膨脹係數較低，可預防裂縫發生。

(2)適用於快速溶解及熱循環之溶解爐。

(3) Al_2O_3 含量大於 72%可應用於 1800°C 以上。

(4)高溫下溶解高碳含量合金，其還原氣氛不利於 SiO_2 。

5.氧化鋁 (Al_2O_3)

(1)具較低的熱膨脹性。

(2)對酸性渣的耐蝕性優於氧化鎂，但低於氧化矽，對鹼性渣的耐蝕性優於氧化矽，但低於氧化鎂。

(3)抵抗不同酸鹼度爐渣的能力較佳，適用於同時溶解許多不同鋼種之溶解爐。

爐襯耐火材料必需具備之條件：

1.在築爐時，必須容易且高均勻密度，不會產生偏析現象。

2.如果耐火材料為粒狀或粉末的聚合體，在燒結時，不需要長時預熱且不需太高溫。

3.必需能承受因操作不當引起的高溫。

4.必需有良好的尺寸穩定度。

5.必需具低的熱容量，以減少熱量損失。

6.面材及背襯材料需有低熱傳係數，以降低熱量散失。

7.必需能承受因加料、除渣、熔液倒出括擦之外力。

8.重新築爐時，爐壁必需容易敲落，避免外力損及線圈。

鑄造廠選擇適當爐襯之耐火材料，需先對自己工廠的熔解情形做深入的了解，並針對下列問題作分析後再決定之。

1. 熔解之過程，是否為連續性？
2. 熔解溫度及熔解之時間。
3. 熔解的材質是否具多樣性？
4. 熔解的原料是否清淨？
5. 精煉步驟所產生的夾渣物。
6. 爐渣的化學成份及酸鹼度。

同時配合選擇適當的耐火材料粒度及粒度分佈，一般耐火材料製造商都已調配到使孔隙率達到最少。只要能持續性的對爐襯耐火材料做追蹤記錄，必有助於日後選擇最適合的耐火材料，而降低生產成本。

學習評量二

請不要參考資料或書籍，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

是非題：對的打「○」不對的打「×」 100%

- () 1.以感應爐溶解金屬所產生之爐渣，其成分多半為金屬中不可熔之氧化物析出形成的。
- () 2.爐渣通常隨著熔液溫度升高而愈來愈多。
- () 3.爐渣與爐襯會產生反應，通常為爐渣聚集愈多之處爐襯損耗也愈嚴重。
- () 4.鑄鐵由過熱溫度逐漸冷卻，爐渣在較高溫度時，以 SiO_2 固態渣為主，而在較低溫度時，是以 $\text{FeO} + \text{MnO}$ 流動性渣為主。
- () 5.鑄鐵中的碳，在熔液中隨溫度升高氧化反應變強，促使 Fe、Mn、Si 之氧化反應亦增強。
- () 6.溶解時會產生酸性爐渣，其爐襯材料應選擇鹼耐火材料，以求酸鹼綜合平衡，增加爐襯使用的壽命。
- () 7.感應電爐爐渣的酸鹼度可由「V-ratio」值來表示，其值大於 1 時為鹼性，等於 1 時為中性，小於 1 時為酸性爐渣。
- () 8.溶解鑄鐵的感應爐爐襯耐火材料應以鹼性耐火材料為佳。
- () 9.溶解鋁、銅的感應爐爐襯耐火材料應以中性耐火材料為佳。
- () 10.以氧化鎂為耐火材料之爐襯不適合長時間連續溶解操作之工作環境。

學習評量二答案：

你的答案應該包括下列要點

是非題

1. (○)
2. (×) 爐渣通常隨著溶液溫度升高而逐漸減少。
3. (○)
4. (○)
5. (×) 鑄鐵中的碳，在熔液中隨溫度升高氧化反應變強，氧化反應所需的氧除了來自空氣外，熔液表面之爐渣 (FeO、SiO、MnO) 亦是一個來源，因此爐渣會發生還原反應，使 Si、Mn 量稍增，而阻絕 Fe、Si、Mn 之氧化反應。
6. (×) 酸性爐渣會侵蝕鹼性爐襯之耐火材料，應選擇同樣酸性之耐火材料。
7. (○)
8. (×) 鑄鐵內 Si 成份於熔解時會產生呈酸性之 SiO 爐渣，所以應選擇酸性耐火材料為佳。
9. (○)
10. (×) 氧化鎂膨脹率大，反覆加熱冷卻，爐壁容易產生裂縫，所以較適合長時間連續熔解之工作環境。

學後評量

(一)是非題： 60% 對的打「○」不對的打「×」

- () 1.氧化矽 (SiO_2) 是屬於酸性耐火材料。
- () 2.氧化鋁 (Al_2O_3) 是屬於鹼性耐火材料。
- () 3.耐熱材料為與熱接觸之面材，其質地要具有堅硬耐摩擦之性質。
- () 4.熱硬性耐火泥在平常室溫乾燥時，即可硬化接著的耐火泥。
- () 5.乾式搗捶之耐火材料，築爐時是使用氣凝固結合劑做凝固材料。
- () 6.耐火磚有酸鹼性之別，不能互相接觸使用，如中間隔著中性磚即不受限制。
- () 7.碳化矽是硬度僅次於鑽石之人造材料，做為耐火材料之添加劑，亦可增加抗酸能力。
- () 8.矽酸鈉通常叫做水玻璃，為氣凝固劑，一般都是加入一氧化碳 CO 使之硬化。
- () 9.以感應爐熔解鋼，其爐襯材料是使用酸性耐火材料。
- () 10.以氧化鋁為耐火材料之爐襯適合同時熔解許多不同鋼種之熔解。

(二)問答題： 40%

- 1.耐火材料之添加劑添加了氧化鉻之後可得到那些優點。
- 2.一般鑄造廠要選擇適當爐襯之耐火材料應作何分析判斷。

參考書籍

- (一)黃章(1991年)感應電爐用之耐火材料,鑄造月刊19期,高雄市,中華民國鑄造學會。
- (二)黃禎烈(1995年)感應電爐爐襯耐火材料,鑄造月刊66期,高雄市,中華民國鑄造學會。
- (三)潘永寧(1995年)鑄鐵之熔渣形成現象及對鑄件品質之影響,鑄造月刊67期,高雄市,中華民國鑄造學會。
- (四)王令儀(1995年)淺談鑄造用耐火塗料,鑄造月刊71期,高雄市,中華民國鑄造學會。
- (五)張晉昌(1999年)鑄造學,台北市,全華科技圖書股份有限公司。P67~P81頁。
- (六)王名增(1983年)鑄工材料,台北市,大中國圖書公司。P7~P22頁。
- (七)劉進銘(1993年)機械材料下冊,台北市,華興書局。P223~P224頁。
- (八)黃禎烈(1996年)感應電爐鑄鐵爐渣對爐襯之影響,鑄造月刊81期,高雄市,中華民國鑄造學會。
- (九)期偉有限公司提供耐火材料資料。