

## **A Powder Chromizing Process with the Advantage of Direct Quenching**

### **可直接淬火之固體粉末滲鉻法**

W.P. Cho, K.A. Chian, Y.C. Chen  
卓文彬、江國安、陳永傳

本研究嘗試改良傳統粉末滲鉻法，以旋轉爐取代傳統的滲鉻匣對工件做滲鉻披覆處理，期能改善披覆層的均勻性及簡化後處理的作業程序；並應用 CVD 的原理來探討各項參數對披覆層厚度及均勻性的影響，以找出工件之最佳滲鉻條件。實驗結果顯示，旋轉爐粉末滲鉻法可於滲鉻後直接淬火，省去二度加熱的能源浪費；其鉻碳化物披覆層厚度均勻、孔洞缺陷少，且滲鉻時間越長、溫度越高，其所生成的鉻碳化物披覆層越厚；再者，當加熱圓筒的容積一定時，所需的氯化銨添加量是一定的，添加更多的氯化銨並無助於提昇鉻碳化物披覆層的厚度；此外，加熱圓筒的轉速必須適當，才可得到最厚的鉻碳化物披覆層；並且由 X-Ray 繞射實驗得知此鉻碳化物披覆層中的化合物為  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  及  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ，其硬度約為 Hv1250~Hv1500。

**關鍵詞：**粉末滲鉻法、旋轉爐、硼砂浴

Due to the disadvantages of the conventional pack chromizing, the present study proposes to use a retort furnace to replace the conventional chromizing pack. It is expected to improve the uniformity of chromium carbide layer and to simplify the post-process after chromizing. Meanwhile, the CVD principle is also employed to discuss the parameters that affect the chromium carbide layer.

The main advantages of chromizing by a retort furnace are that the work piece can be quenched after chromizing without a reheated process, and a comparatively uniform chromium carbide layer with fewer defects can be obtained. The increase in either heating time or temperature can increase the thickness of a chromium carbide layer. Moreover, the rotating speed of heating cylinder must be properly set to increase the thickness of a chromium carbide layer. Besides, a specific amount of  $\text{NH}_4\text{Cl}$  powder is needed for a furnace of fixed volume, an excess amount of  $\text{NH}_4\text{Cl}$  powder would be unnecessary. Finally, a thin layer consisting of  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  and  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  is formed on the surface of the specimen after the chromizing process in the retort furnace, and the hardness of the layer is about Hv1250~Hv1500.

**Keywords:** Pack chromizing, Retort furnace, Borax bath



## 1. 前言

滲鉻方法大致可分為(1)氣體滲鉻法(化學蒸著法, CVD); (2)傳統粉末滲鉻法及(3)硼砂浴滲鉻法等<sup>(1,2)</sup>。其中氣體滲鉻法所排放的氣體會對環境造成嚴重污染; 硼砂浴滲鉻法對小工件的大量處理, 會因處理時試片的相互接觸而造成披覆層的不均勻及處理後硼砂浴凝固造成後處理上的麻煩; 而傳統粉末滲鉻法雖然加入大量的  $Al_2O_3$  粉, 但還是會發生燒結現象<sup>(3,4)</sup>, 對小零件的處理也會因粉末的燒結而造成試片後處理的麻煩。

因此, 本研究嘗試改良傳統粉末滲鉻法, 以旋轉爐取代傳統的滲鉻匣對工件做滲鉻披覆處理, 使得粉末在處理過程中不發生燒結現象, 期能改善披覆層的均勻性及簡化後處理的作業程序, 並將此方法與傳統粉末滲鉻法及硼砂浴滲鉻法比較。

## 2. 實驗理論

本研究所進行的旋轉爐粉末滲鉻法是應用化學蒸鍍法原理(CVD, Chemical Vapor Deposition)來提升滲鉻披覆層厚度以及均勻性, 並減少滲鉻層的缺陷發生。利用  $CrCl_2$  氣體對鋼料進行滲鉻。當爐內滲鉻氣體通過鋼料表面時, 由於摩擦力的影響, 會形成一層氣體流速為零的滯留層, 稱為邊界層, 再藉由邊界層中的氣相擴散等作用進行滲鉻<sup>(1)</sup>。其主要步驟如圖 1 所示:

1.  $CrCl_2$  氣體輸送至反應區。

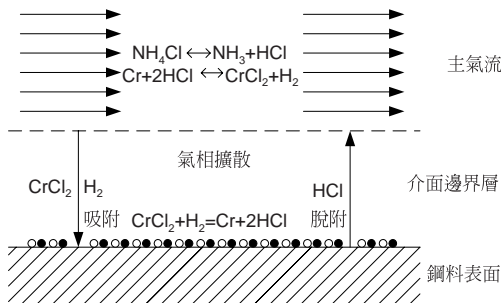


圖 1 旋轉爐滲鉻法之表面反應機構

2. 反應氣體藉由擴散或對流穿過邊界層到達鋼料表面。
3.  $CrCl_2$  氣體吸附(Adsorption)於鋼料表面, 並發生化學反應, 生成鉻原子沈積於鋼料表面。
4. 反應後氣體由鋼料表面脫附(Desorption), 通過邊界層將反應後氣體輸送至主流區。
5. 反應後氣體離開反應區。

## 3. 實驗設備與方法

### 3.1 實驗規劃

本研究之目的主要是改良傳統粉末滲鉻法, 藉由使用旋轉爐滲鉻法來提升鉻碳化物披覆層厚度以及均勻性, 減少滲鉻層的缺陷發生, 並使工件在滲鉻後能直接淬火, 省去二度加熱的麻煩與能源浪費。實驗之作業流程如圖 2 所示。

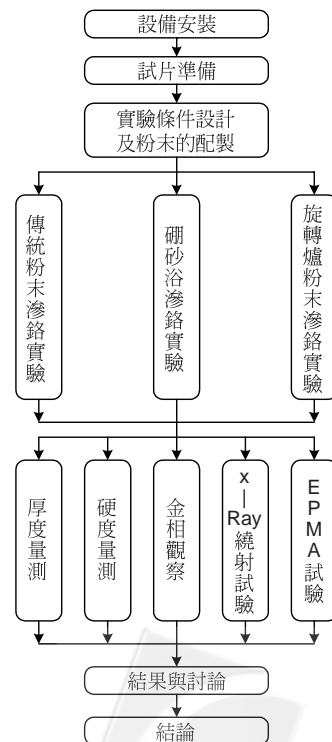


圖 2 實驗的作業流程圖

### 3.2 旋轉爐粉末滲鉻法

所用設備如圖 3 所示，實驗條件如表 1 所示。調配好的粉末及工件送入後室中，蓋上前後圓筒蓋並加上 O 型環以達氣密的效果。先通 Ar 氣以避免在實驗過程中的氧化反應；通氣完成後，將圓筒升溫到預定溫度，並開始計時。到達預定時間後，再通 Ar 氣 3 分鐘，以趕出爐內的 H<sub>2</sub> 及 HCl；而後打開前室圓筒蓋，以傾斜設備將爐體往前室的方向傾倒，此時粉末會留在前室的爐管內，而工件則直接倒入油槽中淬火。與傳統粉末滲鉻法最大的不同在於實驗的過程中，粉末因持續的滾動而不發生燒結現象；此時氧化鋁粉的主要作用不但是在降低燒結程度，並且可降低工件在滲鉻過程中，因相互碰撞對表面產生的不良影響。

## 4. 結果與討論

### 4.1 加熱溫度對披覆層厚度的影響

表 1 實驗條件

條件	粉末重量(g)		圓筒轉速 (rpm)	滲鉻溫度 (°C)	滲鉻時間 (hr)
	鉻粉	氯化鉍			
1	95	5	5	750~950	3
2	90	10	5	950	3~48
3	30~200	5	5	950	3、12
4	99~80	1~20	5	950	3、12
5	95	5	1~8	950	3、12

- 註：1. 每次實驗均使用新氧化鋁粉 900g。  
 2. 實驗起始溫度 250°C，待到達預定溫度後開始計時。  
 3. 通 Ar 作為保護氣體，以避免工件氧化。

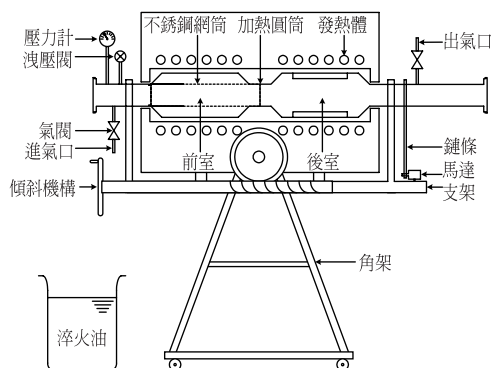


圖 3 旋轉爐設備示意圖

依表 1 條件 1，將工件分別置入 750~950°C 的旋轉爐中進行滲鉻實驗，其結果如圖 4 所示。由圖中可看出，滲鉻時間一定時，滲鉻的溫度越高，其所生成的鉻碳化物披覆層越厚。觀察依不同的加熱溫度，工件表面鉻碳化物披覆層狀況。在 950°C、900°C 下處理的工件，其披覆層的均勻性佳，缺陷少；但當溫度低於 850°C 時，披覆層不均勻且缺陷會朝鋼料內部延伸。

### 4.2 加熱時間對披覆層厚度的影響

依表 1 條件 2，將工件置於旋轉爐中，依相同的實驗條件做 3~48 小時的滲鉻處理，其結果如圖 5 所示。當其它的條件一定時，加熱時間越長，鉻碳化物披覆層越厚。圖中曲線的斜率可視為披覆層的生長速率，曲線斜率隨加熱時間增加而減小，可見生長速率會隨時間的增加而減慢。

### 4.3 鉻粉含量對披覆層厚度的影響

進行表 1 條件 3 實驗，結果如圖 6 所示。當加熱時間為 3 小時，鉻粉含量大於 60g 時，鉻碳化物的披覆層厚度即不再增加；同樣的，當加熱時間為 12 小時，鉻粉含量大於 90g 時，其結果亦相同。因此可以得知，只要鉻粉含量超過一定值時，超過的量並不會使鉻碳化物披

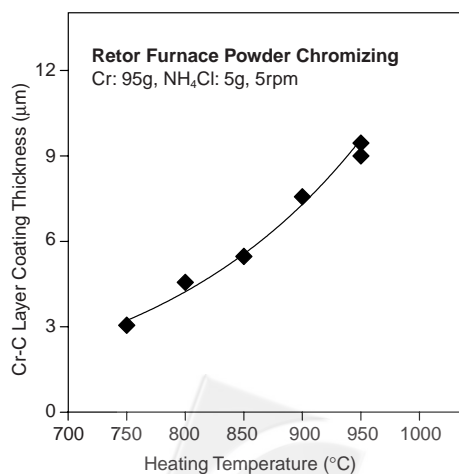


圖 4 工件在不同溫度下以旋轉爐實施滲鉻處理 3 小時後，所得鉻碳化物披覆層厚度與溫度的關係

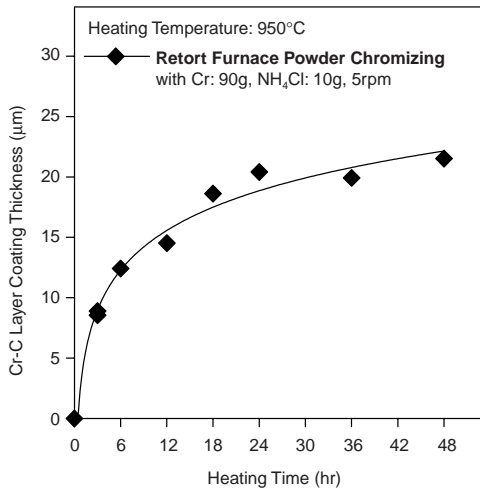


圖 5 950°C 下以旋轉爐粉末滲鉻法處理工件，所得披覆層厚度與時間的關係

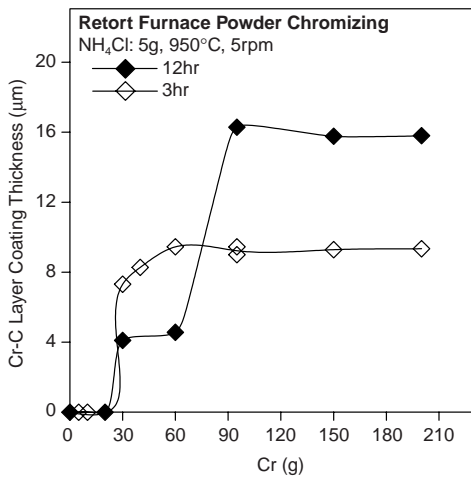


圖 6 950°C 下以旋轉爐粉末滲鉻法處理工件，其鉻粉含量對鉻碳化物披覆層厚度的影響

覆層厚度增加。必須要注意的是，當鉻粉相對於氧化鋁粉的比例過高，爐內粉末會發生燒結現象，產生的小顆粒將影響披覆層的均勻度。

#### 4.4 氯化銨含量對披覆層厚度的影響

進行表 1 條件 4 實驗。氯化銨重量百分比與爐內壓力及滲鉻被覆層厚度的關係如圖 7 所示，在鉻粉含量足夠的情形下，爐內壓力隨著氯化銨重量百分比的增加而增大。當氯化銨的重量百分比低於 3%時，由於反應氣體的分壓

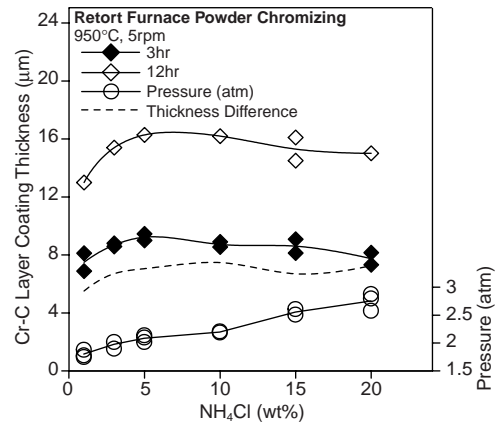


圖 7 950°C 下以旋轉爐粉末滲鉻法處理工件，其氯化銨重量百分比與鉻碳化物披覆層厚度的關係

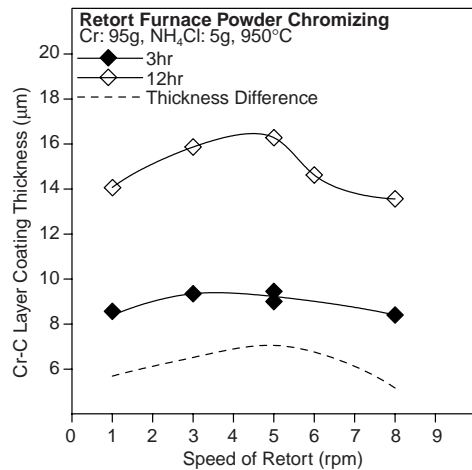


圖 8 950°C 下以旋轉爐粉末滲鉻法處理工件，其加熱圓筒之轉速對鉻碳化物披覆層厚度的影響

不足，造成披覆層厚度的下降；氯化銨重量百分比在 3%~10%間，披覆層厚度的變化量不大；而當氯化銨的重量百分比高於 10%時，由於鉻粉的含量不足，使得鉻碳化物的披覆層厚度下降。

圖中的虛線為加熱 3 小時與 12 小時的厚度差，顯示在 3 至 12 小時的披覆層生長厚度，可以看出，在鉻粉含量足夠的情形下，添加 10%氯化銨的披覆層生長速率為最快。

#### 4.5 加熱圓筒的轉速對披覆層厚度的影響

進行表 1 條件 5 實驗，結果如圖 8 所示。

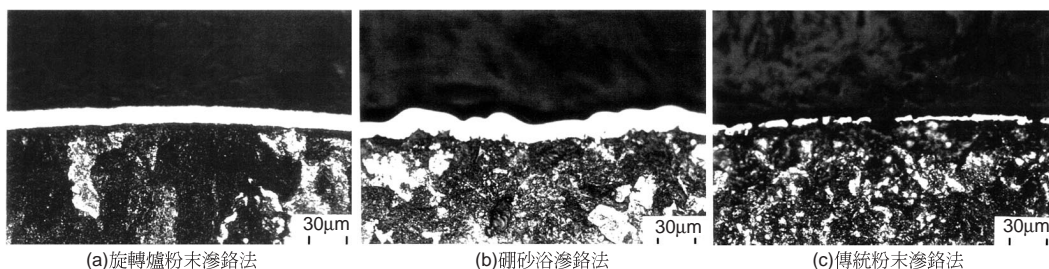


圖 9 經由旋轉爐粉末滲鉻法(a)、硼砂浴(b)及傳統粉末滲鉻法(c)處理的工件，表面的被覆情形

由圖中可看出，圓筒轉速低於 3rpm 及高於 5rpm，披覆層的厚度會明顯降低；且處理的時間越長，差異越大。此外，加熱圓筒的轉速越快，工件在筒中相互碰撞的機率也越高，對披覆層的均勻性造成負面的影響。圖中的虛線為加熱時間 3 至 12 小時所增加的鉻碳化物披覆層厚度，在此時間內，披覆速率最快的轉速亦為 5rpm。

#### 4.6 旋轉爐粉末滲鉻法處理工件之最佳條件

就本實驗裝置而言，處理工件 500 件之最佳滲鉻條件為：通 Ar 氣作為保護氣體，並以氧化鋁粉 1000g、鉻粉 200g 及氯化銨粉 10g 之混合粉末，配合加熱圓筒轉速 5rpm，在 950°C 下處理 12 小時，所得鉻碳化物披覆層厚度平均 16.2µm、硬度約為 Hv1250~Hv1500，表面的被覆情形與硼砂浴及傳統粉末滲鉻法相比如圖 9 所示，可以看出經由旋轉爐粉末滲鉻法處理的工件，其披覆層的表面平順均勻、孔洞缺陷少。

#### 4.7 XRD 繞射試驗

在 950°C 下進行 24 小時的鉻碳化物披覆處理，然後進行表面的 XRD 繞射試驗，所得圖形如圖 10 所示，經與 JCPDS 卡比對，得知在旋轉爐中進行鉻碳化物披覆處理後的披覆層中碳化物為 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 及 Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>，且分別呈(1 0 2)、(5 1 1)之擇優取向。

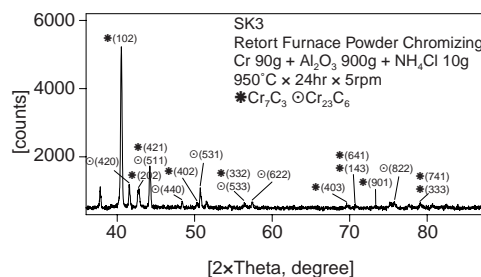


圖 10 試片置於旋轉爐中進行 24 小時滲鉻處理後，其表面的 X-Ray 繞射分析

1000g、鉻粉 200g 及氯化銨粉 10g 之混合粉末，配合加熱圓筒轉速 5rpm，在 950°C 下處理 12 小時，所得鉻碳化物披覆層厚度平均 16.2mm、硬度約為 Hv1250~Hv1500，且披覆層的表面平順均勻、孔洞缺陷少，所得披覆層中的鉻碳化物為 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 及 Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>。

2. 旋轉爐粉末滲鉻法使用的粉末可重覆使用，因此生產成本較低，但處理的工件尺寸及形狀有所限制，較適合球形或圓柱形的小工件；而硼砂浴滲鉻法使用的硼砂浴容易劣化，不僅生產成本較高，還會對環境造成污染。
3. 旋轉爐粉末滲鉻法處理工件後可直接淬火，節省能源；傳統粉末滲鉻法必須重新加熱淬火；硼砂浴滲鉻法處理完後的工件，由於硼砂與工件會凝固結塊，造成後處理的麻煩。

#### 參考文獻

1. 陳永傳:金屬熱處理, 41 (1994) 11。
2. S.A. Plumb., Metallurgia, 52 (1985) 62.
3. Tohru Arai: Thin Solid Films, 249 (1994) 60.
4. 唐自標:金屬熱處理, 5 (1980) 32。

## 5. 結 論

1. 以旋轉爐處理工件 500 件之最佳滲鉻條件為：通 Ar 氣作為保護氣體，並以氧化鋁粉