

## 熱軋鋼捲銹皮組織對酸洗性之影響研究

廖啓民\*、林思寧

### The Influence of Scale Structure of Hot-Rolled Steels on the Pickling Performance

C. M. Liao\*, S. L. Lin

#### 摘 要

熱軋鋼材在進行冷軋之前，須將表面銹皮以酸洗的方式去除。酸洗的難易與銹皮之特性有很大關連，本研究即在探討熱軋鋼捲之酸洗性與銹皮結構之關係。試驗材料為同材質之三捲熱軋鋼捲，採用三種濃度之鹽酸酸洗液，在 85 °C 進行酸洗。研究發現酸濃度愈高，各試片之洗淨時間愈短；不同鋼材及不同位置都有不同的酸洗性質。一般而言，尾端料比頭端料難酸洗，中央位置與邊緣位置之酸洗性則無明顯差異。銹皮的組成以  $Fe_3O_4$  為主， $Fe_2O_3$  則隨鋼捲之位置而異，鋼捲邊緣位置都確定有  $Fe_2O_3$ ，但中間部位則不一定有。鋼捲之銹皮特性相當複雜，同一鋼捲之頭尾端、邊緣或中心、上下表面之銹皮厚度、緻密或鬆散、裂紋之多寡和方向、銹皮組成(尤其是  $Fe_2O_3$ )都不一致，導致酸洗性的不同。經歸納後發現影響銹皮酸洗難易度之內在因素主要有三：(1) 銹皮厚度、(2) 銹皮緻密性、(3) 銹皮組成，尤其是  $Fe_2O_3$  層的量及連續性。

關鍵詞：熱軋鋼材；銹皮組織；酸洗。

#### ABSTRACT

Before the cold-roll process, pickling is applied to the hot-rolled coils to remove the oxide scale on the surface. The pickling efficiency is affected by the scale properties. Understanding of the relationship between these two is the main purpose of this study. Three hot-rolled coils with same compositions were pickled at 85°C, under hydrochloric acids with three concentrations. The higher acid concentration, the shorter the pickling time for all these three steels. The pickling rate of oxide scale at various locations and coils are different. Basically, the oxide at the end coil is easier to be removed than the beginning coil. Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) is the major oxide structure for all these three coils. Hematite ( $Fe_2O_3$ ) exists on most of the side area but not on the center of the coils. The oxide structures are complicated, either compact or loose, thick or thin, with or without hematite. They are all different at various positions, including outer or inner part, edge or center of steel coil. The major factors affecting the pickling rate are scale thickness, compactness, and the oxide structure, especially the amount and continuousness of hematite.

Keywords: Hot-rolled steels; Oxide scale; Pickling.

---

中國鋼鐵公司新 材料研發處

Department of New materials Research and Development, China Steel Corporation

\* 連絡作者：t633@mail.csc.com.tw

## 1. 前言

鋼材經過煉鐵、煉鋼、連鑄成鋼胚，而後經過熱軋成鋼捲；熱軋製程始於鋼胚在加熱爐 1150 °C ~ 1300 °C 左右的加熱，鋼胚出爐後，先強力噴水，去除了加熱爐中生成的一次銹皮，而後經過粗軋、精軋、層流冷卻，再經盤捲成鋼捲，而後逐漸冷卻到室溫。熱軋過程的每一階段均對銹皮的結構有很大的影響，正常情況下，粗軋階段的銹皮在進入精軋之前也會被高壓水噴除，否則將產生軋入銹皮之缺陷，因此大部分熱軋鋼捲的表面，多為精軋及其後階段，即 900 °C 以下所生成的銹皮。

依照圖 1<sup>[1]</sup>所示之加熱溫度與純鐵之銹皮組成的關係可知，700 °C 以下，FeO (Wüstite)隨溫度下降而漸減，Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Magnetite)則漸增，而 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematite)在 900 °C 以下就開始隨溫度下降而漸少。FeO 實際上 Fe 的含量少於計量比，故較嚴謹的寫法為 Fe<sub>1-x</sub>O，而 x = 0.05 - 0.16 之間。碳鋼的銹皮結構與純鐵相似，已是以前述三種氧化鐵為主，且其分部由底材往外分別為 Fe<sub>1-x</sub>O、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

熱軋鋼捲須以酸洗方式去除其表面銹皮之後，才能繼續軋製成冷軋產品。碳鋼酸洗常用鹽酸或硫酸，而鹽酸因為有(1) 酸洗後表面均勻、(2) 較不易過度酸洗、(3) 亞鐵離子容許量較高(13%)、(4) 加熱

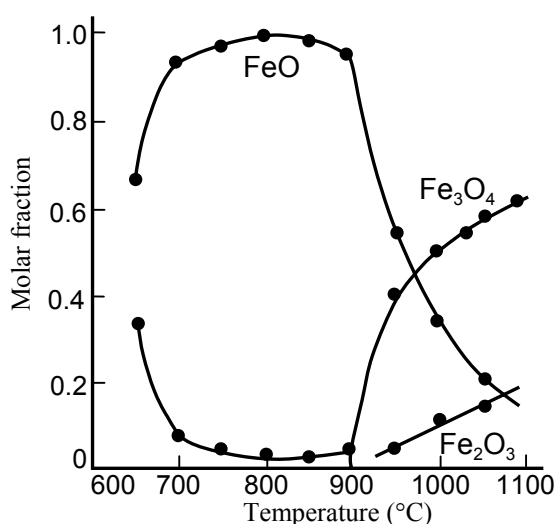
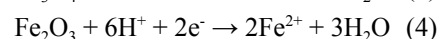
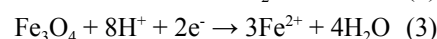
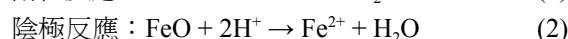
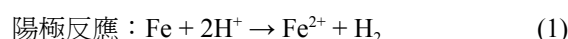


圖 1 純鐵之氧化物生成莫耳比與溫度之關係<sup>[1]</sup>。  
Figure 1 The relationship between molar fraction of iron oxides and temperatures.

費用低、(5) 廢酸回收較經濟等優點，因此一般碳鋼廠都以鹽酸為主酸。除了主酸之外，酸洗液中必須添加適當之添加劑，一則促進銹皮之脫落，二則保護底材免被大量腐蝕。

Yamaguchi<sup>[2]</sup>，將銹皮的酸洗反應分成二個階段。第一階段為氧化鐵的酸溶解反應，酸液蝕穿銹皮使之產生裂縫後，進入銹皮與底材的界面。第二階段則除了化學溶解之外，當酸液接觸底材，底材—酸液—銹皮之間形成了電位差腐蝕電池，電化學溶解反應便開始發生。並且銹皮裂縫密度及界面層腐蝕速率增加，最終至銹皮完全剝離。

酸洗的電化學反應式如下



上述的四個反應速率也以式(1)最快，其次為式(2)及(3)，最慢者為式(4)<sup>[3]</sup>。

文獻<sup>[4]</sup>指出，Fe<sub>1-x</sub>O 具有 5 ~ 16% 左右的鐵離子缺陷，所以在銹皮組織中，它的機械強度最弱，且最容易被酸洗除去。Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Magnetite) 為反尖晶石結構，氧原子以 FCC 方式排列，八面體位置由 Fe<sup>2+</sup> 及半數的 Fe<sup>3+</sup> 所佔據，其餘的 Fe<sup>3+</sup> 則佔據四面體位置，故其缺陷位置皆發生在四面體及八面體位置，因此鐵離子的擴散路徑皆會經由這些缺陷位置。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematite) 為菱方晶(rhombohedral)結構，相較於其他二種氧化鐵，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 為鐵離子過剩型的氧化物，也為三種氧化鐵中較難被酸洗的組成。

因為銹皮組成中 Fe<sub>1-x</sub>O 含量的差異，會導致兩階段所發生的銹皮溶解模式也有所不同<sup>[2]</sup>。圖 2(a) 為銹皮中無 Fe<sub>1-x</sub>O 時的酸洗示意機構，酸液由銹皮裂縫進入內層，且擴大銹皮層裂縫數目及對底材進行溶解，而第二階段時將銹皮與底材剝離。銹皮裂縫密度大小對這種銹皮組成酸洗的影響較大。圖 2(b) 為含有 73% 的 Fe<sub>1-x</sub>O 銹皮組成的酸洗機構示意圖。由於 Fe<sub>1-x</sub>O 較容易溶解於酸洗液，因此在第一階段的酸洗中除銹皮裂縫增加外，銹皮的厚度方向也會有溶解減薄的效果，至第二階段時銹皮已被去除大半，此種銹皮組成較不含 Fe<sub>1-x</sub>O 的銹皮容易酸洗。

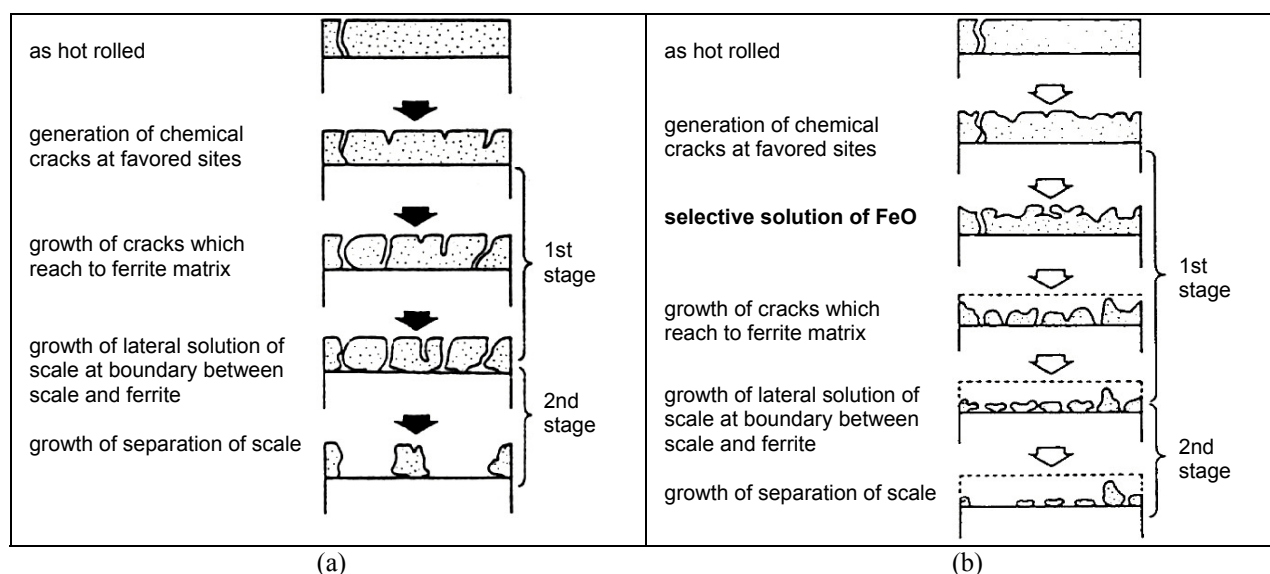


圖 2 有無  $Fe_{1-x}O$  之銹皮組成之酸洗機構示意圖<sup>[2]</sup> (a) 無  $Fe_{1-x}O$ , (b)  $Fe_{1-x}O$  多。  
 Figure 2 Schematic diagrams of pickling mechanism at conditions of various  $Fe_{1-x}O$  fraction<sup>[2]</sup>, (a) without  $Fe_{1-x}O$ , (b) plenty of  $Fe_{1-x}O$ .

在正常情況下，酸洗可將銹皮完全除淨，但在某些情況下，仍會有銹皮殘留於鋼材表面，使得後續之冷軋產品或鍍面產品發生表面缺陷。而銹皮酸洗的難易性與鋼種、軋鋼製程有關。本研究以一種中鋼公司生產之一般等級，但卻不易酸洗之鋼材為材料，探討銹皮組織與其酸洗性之相關性。

## 2. 實驗

本研究探討三捲成分相似之一般碳鋼的熱軋鋼捲(以代號 A、B、C 表之)之不同部位的酸洗性差異，其成分如表 1 所示。這三捲鋼捲的特徵是高溫盤捲，其盤捲溫度為 700 °C。三種試片都同時取鋼捲之頭端(外圈)與尾端(內圈)料，頭端料之代號為 H，尾端代號為 T。且比較各鋼材之邊緣和中心部位之性質差異，其位置以阿拉伯數字為代號，以每 4 cm 為間距，將全寬編號，各種試驗之邊緣部位皆取 2 號，即距邊 4~8 cm；而中心部位則為 17 號，即距邊 64~

68 cm 處。

實驗之工作分成二大項，第一是銹皮結構解析，第二是酸洗試驗。銹皮解析之工作有兩項，第一是以低角度 XRD 分析銹皮組成差異，第二則以橫截面之 SEM 觀察，記錄銹皮型態，並計算銹皮厚度。銹皮厚度之計算係以 2000 倍之 SEM 照片，選取 12 個位置量測其厚度，再取其平均值。

酸洗試驗是採用動態方法，模擬現場實際酸洗時鋼捲與酸液之相對運動。比較 85 °C 之下，三種不同鹽酸濃度之酸洗液進行酸洗，其濃度分別為 4.15 N、3.27 N、2.53 N，並記錄銹皮完全洗淨之時間。

## 3. 結果與討論

### 3.1 酸洗試驗

不同濃度之酸液對不同鋼捲之不同位置的酸洗結果如表 2 所示，顯示酸洗性質與鋼捲、位置、酸液濃度都有關係。

表 1. 本研究所用鋼材之成分(wt.%)。

Table 1 The chemical composition (wt.%) of the steel studied.

元素	C	Si	Mn	P	S
濃度	0.02	0.01	0.22	0.01	0.005

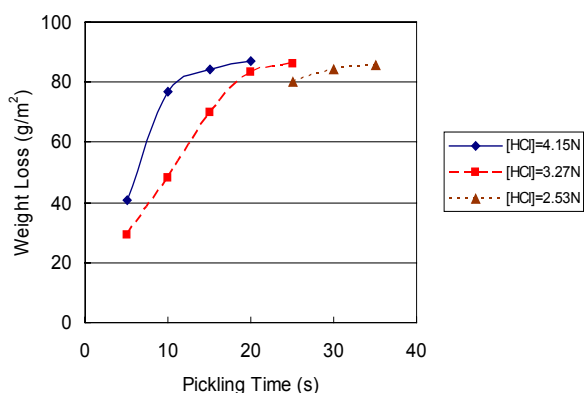


圖 3 三種不同酸液濃度對 A 鋼捲之尾端邊料酸洗的影響。

Figure 3 Effect of acid concentration on pickling to the edge of outer portion of coil A.

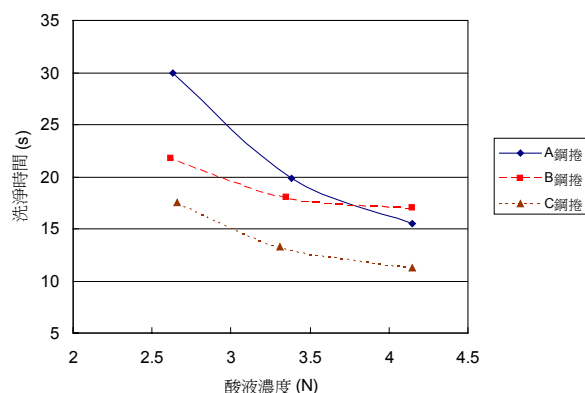


圖 4 酸液濃度對三個鋼捲之酸洗洗淨總平均時間的影響。

Figure 4 Effect of acid concentration on the average pickling time of three steel coils.

### 3.1.1 酸液濃度對各鋼捲酸洗之影響

三種不同酸液濃度對 A 鋼捲酸洗之影響如圖 3 所示，顯示酸度越高則其洗淨時間越短，其餘試片也有相似現象。圖 4 為三種試片個別之總平均洗淨時間與酸度之關係，同樣也顯示酸度越高則洗淨時間越短。整體而言，較容易清洗的為 C 鋼捲。

根據 Hudson 酸洗經驗式<sup>[5]</sup>，洗淨時間、酸液濃度、酸洗溫度三者間的相關性為：

$$\text{Log}(t_p) = a + b \log(C_{\text{HCl}}) + d(1/T) \quad (5)$$

其中， $t_p$ ：酸洗洗淨時間

$C_{\text{HCl}}$ ：鹽酸濃度

T：酸洗溫度(K)

a、b、d：常數

經驗式中之 b 值為與酸液濃度相關之係數，其絕對值越大表示酸洗能力受酸度之影響越大，反之則影響越小。

圖 5 為三捲鋼捲根據 Hudson 酸洗經驗式之

表 2. 不同鋼捲不同位置之銹皮平均厚度及酸洗結果。

Table 2 Scale thickness and results of pickling at different position of different coils.

鋼捲	位置	銹皮厚度 (μm)			酸洗洗淨時間 (s)								
		上表面	下表面	平均	酸濃度 4.15 N			酸濃度 3.27 N			酸濃度 2.53 N		
					個別	平均	總平均	個別	平均	總平均	個別	平均	總平均
A	H2 頭邊	7.22	8.08	7.65	15	15	16	17	16	20	---	---	30
	H17 頭中	6.91	8.23	7.57	15			16			---		
	T2 尾邊	12.38	12.67	12.53	17	16	23	21	23	30	30	30	
	T17 尾中	11.24	12.16	11.70	15			25			30		
B	H2 頭邊	7.81	8.10	7.95	15	16	17	15	18	18	17	18	22
	H17 頭中	9.10	8.40	8.75	17			20			20		
	T2 尾邊	11.98	10.93	11.45	18	18	18	17	18	27	23	25	
	T17 尾中	10.48	11.71	11.09	18			20			27		
C	H2 頭邊	6.86	6.79	6.83	12	12	11	12	12	13	18	19	18
	H17 頭中	8.76	8.39	8.58	13			12			20		
	T2 尾邊	8.94	13.18	11.06	10	10	14	14	14	13	12	16	
	T17 尾中	7.53	7.08	7.30	10			15			20		

$\log(t_p)$ - $\log(C_{HCl})$ 圖，由圖中之斜率可求得 b 值，列於表 3。綜合圖 5 與表 3，A 鋼捲的 b 值為-1.455，其絕對值最大，表示該鋼捲受酸液濃度之影響最大；而 b 值之絕對值最小的是 B 鋼捲的 0.547，表示該鋼材受酸液濃度之影響最小；而對照圖 4 確實也顯示相同結果，A 鋼捲的洗淨時間因為酸濃度提升而大幅縮短，但 B 鋼捲則相對變化較小。

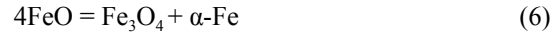
### 3.1.2 不同鋼捲不同位置之酸洗性質

不同鋼捲之不同位置均有不同的酸洗性質，表 2 之數據顯示除了 C 鋼捲之頭端(外圈)的酸洗時間較尾端料(內圈)長之外，其餘都是尾端料(內圈)比頭端料(外圈)難酸洗。若比較同一鋼捲之同一圈位，則發現中央位置與邊緣位置的酸洗性也很複雜，並無明顯之共同趨勢。

### 3.2 銹皮結構解析

以低角度 XRD 解析銹皮結構之結果如表 4 所示，所有鋼捲之所有位置都存有  $Fe_3O_4$  而無  $Fe_{1-x}O$ 。

這是因為在 570 °C 以下， $Fe_{1-x}O$  不穩定<sup>[6]</sup>，極容易產生共析反應分解成  $Fe_3O_4$  及  $\alpha$ -Fe。其反應式為：



FeO 的分解反應速率與溫度有關，Chaudron 等人<sup>[7]</sup>發現在 470 °C 時此反應最快；而 Fischer<sup>[8]</sup>和 Shiraiwa<sup>[9]</sup>則發現 400 °C 時最快，如圖 6 所示。此反應速率實際上與鋼材及冷卻時之外在氣氛都有關係，一般而言反應速率最快約介於 400 °C 至 470 °C 之間。此溫度範圍為熱軋盤捲後的冷卻階段，而此冷卻過程常需數天之久。因此 FeO 常有機會被完全轉換，故一般所觀察到的熱軋鋼捲的銹皮組織，常有內層為  $Fe_3O_4$  及  $\alpha$ -Fe，而外層仍為  $Fe_2O_3$  之現象。

本研究之三個鋼捲盤捲之後，經過長達約四天之久之冷卻，溫度低於 570 °C 之時間很長，因此原先之  $Fe_{1-x}O$  已經完全轉化為  $Fe_3O_4$  及  $\alpha$ -Fe，故 XRD 分析不到  $Fe_{1-x}O$  的訊號；而有部分鋼材之部分位置未分析到有  $\alpha$ -Fe，這有可能是 X-ray 打到底層之強度已

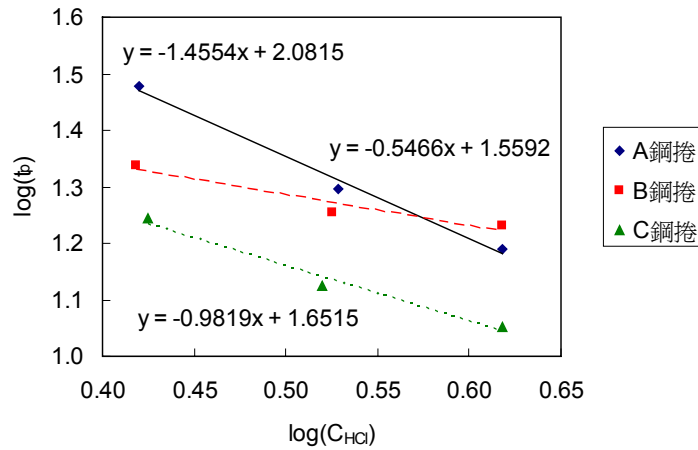


圖 5 根據 Hudson 酸洗經驗式繪製之  $\log(t_p)$ - $\log(C_{HCl})$ 圖。

Figure 5  $\log(t_p)$ - $\log(C_{HCl})$  relationship of three coils according to the Hudson equation.

表 3. 以不同酸度酸洗後根據 Hudson 方程式求得之係數。

Table 3 The coefficients obtained by Hudson Equation from pickling results of various acids.

鋼捲代號	b 值	a+d/358 值
A	-1.455	2.082
B	-0.547	1.559
C	-0.982	1.652

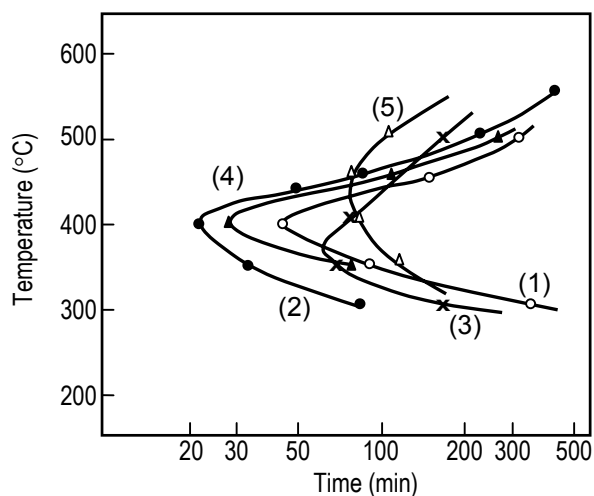


圖 6  $Fe_{1-x}O$  轉化反應之連續冷卻-溫度圖<sup>[9]</sup>，其中線(1)、(2)為鋼材上的 FeO，(3) 以  $Fe+Fe_3O_4$ ，(4) 以  $Fe+2Fe_3O_4$ ，(5) 以  $2Fe+Fe_3O_4$  加熱得到之 FeO。其中(2)是在空氣中分解，其餘在真空中。

Figure 6 The time-temperature-transformation diagram of  $Fe_{1-x}O$  transformation<sup>[9]</sup>. (Marker — line (1)& (2): oxide on steel, (3)~(5): FeO formed from Fe and  $Fe_3O_4$  — (3)  $Fe+Fe_3O_4$ , (4)  $Fe+2Fe_3O_4$ , (5)  $2Fe+Fe_3O_4$ . (2) was transformed in air, but others were in vacuum.

經減弱，故未能偵測到  $\alpha-Fe$ 。在這些試片中，大部分都有  $Fe_2O_3$ ，尤其是鋼捲之所有邊緣位置都有  $Fe_2O_3$  的生成，但中心位置則不一定有。未分析到  $Fe_2O_3$  之位置，有可能真的沒有，也有可能因為量太少而不易分析到。總體而言，這三個鋼捲之銹皮組織均以  $Fe_3O_4$  為主，而  $Fe_2O_3$  則隨位置而異，但所有邊緣位置都確定有  $Fe_2O_3$ 。鋼捲邊緣位置因為氧的供應較

充分，因此比中心部位更容易生成  $Fe_2O_3$ 。

### 3.3 銹皮特性與酸洗性之關係

由以上 3.1 和 3.2 節之結果，可知本研究探討之三個鋼捲的酸洗性受到銹皮特性之影響很大，與其位於鋼捲之內外圈、邊緣或中央部位、上下表面等有關。

表 4. 不同鋼捲不同位置之低角度 XRD 分析結果。

Table 4 The results of XRD analysis of the scales of various steel coils and positions.

鋼捲	位置	銹皮總厚度 (mm)	$\alpha-Fe$	FeO	$Fe_3O_4$	$Fe_2O_3$
A	H2-頭端側邊	4.6	√		√	√
	H17-頭端中心		√		√	
	T2-尾端側邊		√		√	√
	T17-尾端中心		√		√	
B	H2-頭端側邊	5.4	√		√	√
	H17-頭端中心		√		√	
	T2-尾端側邊		√		√	√
	T17-尾端中心				√	√
C	H2-頭端側邊	2.6			√	√
	H17-頭端中心				√	√
	T2-尾端側邊				√	√
	T17-尾端中心		√		√	

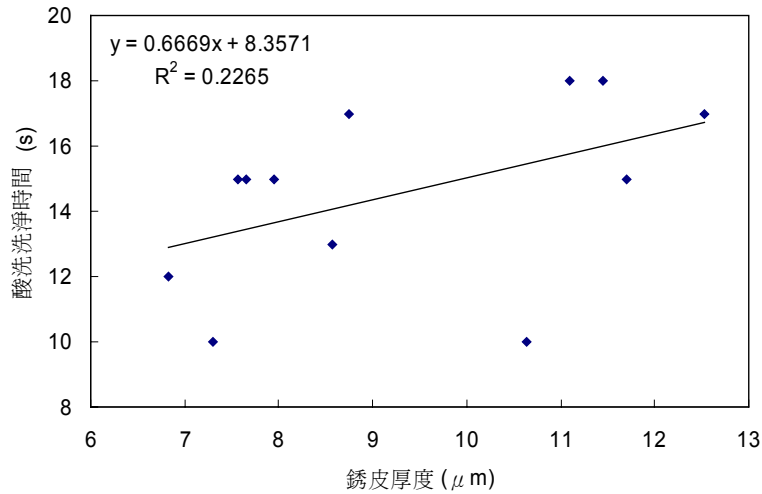


圖 7 銹皮厚度與酸洗洗淨時間之關係。

Figure 7 The relationship between scale thickness and pickling time.

### 3.3.1 銹皮厚度與酸洗性之關係

各鋼材之各位置的銹皮厚度如表 2 所示，可將銹皮厚度歸納得到以下特性：(1) 同一鋼材同一位置之上下表面銹皮厚度都不一樣，尤其以 C 料尾端邊緣差異最大，達 4.24 μm；(2) 上下表面銹皮之厚度並無特定趨勢，但以上表面厚於下表面者為多；(3) 同一圈位之邊緣位置與中央位置之銹皮厚度也無特定趨勢；(4) 尾端(內圈)銹皮平均厚度均大於頭端(外圈)銹皮，此乃內圈的冷卻速率比外圈慢，因此氧化時間較長，故其銹皮厚度大於外圈。

圖 7 是將各試片之平均銹皮厚度與在 4.15 N 濃度之鹽酸中酸洗洗淨時間之作圖，顯示洗淨時間與銹皮厚度有弱相關性，但大致上銹皮越厚則其洗淨時間越長。

在 3.1.2 節中，發現除了 C 料之頭端(外圈)的酸洗時間長於尾端料(內圈)之外，其餘都是尾端料(內圈)比頭端料(外圈)難酸洗；而在表 2 中，尾端銹皮平均厚度都大於頭端銹皮。由此可知，A 和 B 鋼捲之頭尾端酸洗性，都可以藉銹皮厚度較厚較難酸洗，合理解釋其大致趨勢；但卻仍無法解釋 C 鋼捲之頭端料(外圈)比尾端料(內圈)難酸洗。因此除了銹皮厚度之外應還有其他影響酸洗難易的因素。

### 3.3.2 銹皮緻密性及 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與酸洗性之關係

若從銹皮之型態觀察思考，不同位置之銹皮的緻密性(或鬆散程度，包括其裂紋量、裂紋方向、孔洞多寡等)不同，且 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 之分布和厚度也不同，預期此二者會影響酸洗性。

表 5 是三個鋼捲之幾種不同的銹皮型態以及其酸洗時間之綜合整理與比較。範例 1(A 鋼捲之尾端中間部位)之平均銹皮厚度為 11.70 μm，範例 2(B 鋼捲之頭端邊緣部位)為 7.95 μm，二者之厚度差異很大，但其酸洗時間皆為 15 秒，原因可由其銹皮結構解釋。範例 2 之銹皮雖較薄，但卻較緻密；二者都有 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，但都很薄，且程度相近。因此主要是銹皮之緻密性彌補厚度因子，造成二者之酸洗性相近。相同的，範例 4(C 鋼捲之尾端邊緣部位)與 5(C 鋼捲之尾端中間部位)二者也是酸洗時間相同(10 秒)，但銹皮厚度不同。範例 4 雖然銹皮較厚，但卻非常鬆散；範例 3 銹皮較薄但卻較緻密，因此也是緻密性彌補厚度因子，造成二者之酸洗性相近。

比較範例 1、3(B 鋼捲之尾端中間部位)、4，三者之銹皮厚度相近，但範例 4 之酸洗時間最短，僅為 10 秒；範例 1 次之，為 15 秒；範例 3 最長，為 18 秒。這是因為範例 4 之銹皮最為鬆散，且 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 最不明顯，因此最容易酸洗；範例 1 與範例 3 之銹皮致密度和厚度都相近，但因後者的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層較明



顯，因此造成前者的酸洗時間較短，而後者最不易酸洗。

由於三鋼捲的 FeO 都已經完全轉化，銹皮組成以 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 為主，部分則表層有 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。因此酸洗時酸液必須溶解較難酸洗的 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，尤其後者最難酸洗，其有無及多寡會影響酸洗性。表 5 的比較即可確認：除了銹皮厚度之外，銹皮越緻密以及有越多的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，則其酸洗時間越長。

綜而言之，影響銹皮酸洗難易度之內在因素有三：(1) 銹皮厚度、(2) 銹皮緻密性、(3) 銹皮組成，尤其是 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層的量及連續性。

#### 4. 結論

本研究探討同材質之三捲鋼捲之酸洗性與銹皮結構之關係，根據實驗結果可獲之下述結論。

1. 酸濃度越高則各酸洗之洗淨時間越短。
2. 三個鋼捲之銹皮組織都以 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 為主，而 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 則因材因位置而異。鋼捲的所有邊緣位置均有 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，中間部位則不一定有；而原先之 Fe<sub>1-x</sub>O 已經完全轉化為 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 及 α-Fe。
3. 各鋼捲之銹皮特性相當複雜，同一個鋼捲之頭尾端、邊緣或中心、上下表面之銹皮厚度、緻密或鬆散、裂紋之多寡和方向、銹皮組成(尤其是 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 都不一致，所以其酸洗性質也都不同。
4. 酸洗洗淨時間與銹皮厚度只呈現帶狀分布之弱相關性，大致上銹皮越厚則其洗淨時間越長，但銹皮厚度無法完全解釋酸洗難易程度。
5. 熱軋鋼捲銹皮酸洗之難易度受銹皮厚度、銹皮緻密性、銹皮組成(尤其是 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層的量及連續性) 等三個內在因素影響。

表 5. 鋼捲之酸洗時間、銹皮厚度與銹皮型態(酸濃度 4.15 N)。

Table 5 The relationship among pickling time, scale thickness, and scale morphology (4.15 N HCl).

例	鋼捲/位置	酸洗時間(s)	銹皮厚度(μm)	銹皮型態之金相 20 μm		銹皮型態說明
1	A/尾中	15	平均 11.70			裂縫不多，但有孔洞；Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 不明顯。
2	B/頭邊	15	平均 7.95			大部分銹皮緻密，裂紋不多；外層有薄薄之 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 。
3	B/尾中	18	平均 11.09			銹皮裂縫少，相對紮實，銹皮厚度較均勻；大多有 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 層。
4	C/尾邊	10	平均 11.06			銹皮鬆散，裂縫很多；Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 層不明顯。
5	C/尾中	10	平均 7.30			緻密與鬆散銹皮都有；Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 不明顯。



## 參考資料

1. 富永治朗、村上雅昭、脇本欣也、吉村隆文、森俊道：製鐵研究，303 (1980) 13603.
2. S. Yamaguchi, T. Yoshida, and T.Saito, ISIJ International, 34 (8) (1994) 670.
3. R. M. Hudson, Iron and steelmaker, 30 (1991) 31.
4. 日本鐵鋼協會：鐵鋼便覽(IV)，第3卷(1)，1編，2002 (光碟版)。
5. R. M. Hudson, ASM Handbook, Pickling and Descaling, Vol. 5 (1996) pp. 67 ~ 78.
6. H. A. Weriedt, in: "Binary Alloy Phase Diagrams", 2<sup>nd</sup> ed., Vol. 2, T. B. Massalski, H. Okamoto, P. R. Subramanian, and L. Kacprzak, eds. (ASM International, Metals Park, OH, USA., 1990) pp. 1739 ~ 1744.
7. G. Chaudron, H. Forestier, cited from：魏豐義，鋼鐵冶金學，第4卷，第10章，中國鑛冶工程學會，1989。
8. W. A. Fischer, A. Hoffmann, and R. Shimada, cited from：魏豐義，鋼鐵冶金學，第4卷，第10章，中國鑛冶工程學會，1989。
9. T. Shiraiwa and F. Matsuno, Sumitomo Metals, 19 (1967) 33.

收到日期：2005年8月25日

修訂日期：2006年6月14日

接受日期：2006年7月7日

