

# 不銹鋼在熔融碳酸鹽之耐腐蝕研究

邱六合\*、翁光良、蔡明河

## Corrosion Resistance of Stainless Steels in Molten Carbonate Salts

L. H. Chiu\*, K. L. Weng and M. H. Tsia

### 摘 要

本研究在 650°C 熔融碳酸鹽(62mol%Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+38%mol%K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)及燃料電池陽極氣氛(68%H<sub>2</sub>+17%CO<sub>2</sub>+15%H<sub>2</sub>O)下，討論各類型不銹鋼之合金元素及結晶構造對其腐蝕行為的影響。實驗結果說明，不銹鋼的重量損失隨著基材鎳和鉻含量的增加而降低，沃斯田鐵系不銹鋼腐蝕層內層形成 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，成為阻止鐵向外擴散的障壁，腐蝕層外層的鋰鐵氧化物中有固溶鎳，對耐蝕性有提升的效果，所以沃斯田鐵系不銹鋼在熔融碳酸鹽中的耐蝕性優於肥粒鐵系不銹鋼及雙相不銹鋼。

關鍵詞：熔融碳酸鹽，不銹鋼，浸漬實驗，重量損失。

### ABSTRACT

The corrosion resistance of stainless steels in a molten carbonate bath was investigated by the immersion and semi-immersion test at 650°C for different exposure times. The corroded samples were analyzed by using the x-ray diffractometer to identify the phases present. Characterization of the corroded scale was carried out with scanning electron microscopy and electron probe microanalysis. Weight loss was decreased as the contents of chromium and nickel increased in stainless steels. Corrosion resistance of austenitic stainless steels was superior to those of ferritic stainless steels and duplex stainless steels, because nickel formed a solid solution in lithium iron oxide which suppressed the outward diffusion of iron through inner Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layer.

Key words: molten carbonate salt, stainless steel, immersion test, weight loss.

## 一、前 言

熔融碳酸鹽燃料電池因其高的能源轉換效率(50~60%)、燃料來源多元化及親環保的特性，現今已成為各國電力研究開發重點<sup>(1)</sup>。熔融碳酸鹽燃

料電池本體為陽極、陰極、電解質層及雙極板所集合而成。雙極板的材料必須滿足在 40000 小時預期壽命內有低腐蝕速率、高的電傳導率及足夠的機械強度等要求<sup>(2)</sup>。雙極板通常由 SUS310S 或 SUS316L 不銹鋼板製造而成，雙極板因被電解質

\* 大同大學材料工程學系

Department of Materials Engineering, Tatung University, Taipei, Taiwan 104.

表 1 各種不銹鋼之化學組成(wt%)  
Table 1 Chemical compositions (wt%) of the stainless steels tested

合金	結構	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
304	$\gamma$	bal	0.06	0.45	1.44	18.0	8.21	0.05
310	$\gamma$	bal	0.08	0.5	1.76	22.24	12.51	0.06
316	$\gamma$	bal	0.023	0.45	0.93	16.93	11.78	2.2
430	$\alpha$	bal	0.025	0.46	0.6	15.96	0.62	0.02
2205	$\alpha+\gamma$	bal	0.019	0.58	0.68	23.54	5.56	1.47

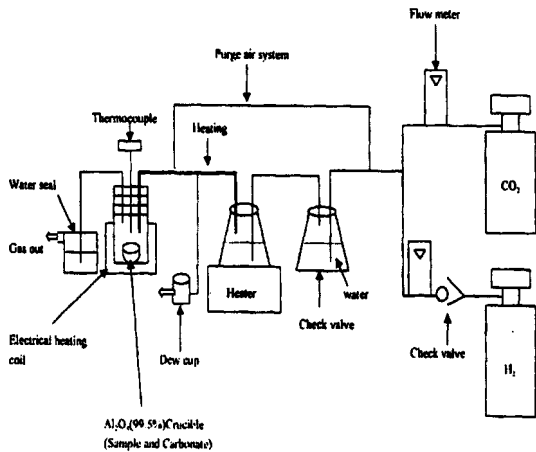


圖 1 靜態腐蝕裝置圖。  
Fig. 1 Corrosion test apparatus.

的熔融鹽沾濕或直接與熔融鹽接觸而腐蝕，降低導電性，造成電池性能衰減，此問題是熔融碳酸鹽型燃料電池技術中最迫切有待解決的問題<sup>(3)</sup>。

有關雙極板材料的研究，佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>研究  $\alpha$  系及  $\gamma$  系不銹鋼材料的合金元素及結晶構造對於熔融碳酸鹽及燃料電池陰極氣氛 (30%  $CO_2$  + 70% air) 腐蝕行為的影響，結果說明，腐蝕速率隨不銹鋼中 Cr 及 Ni 含量增加而降低，所有腐蝕材料最外層均具  $LiFeO_2$  結構，內層則為具有抑制 Fe 向外擴散之  $Cr_2O_3$  結構，其中  $\gamma$  系因 Ni 固溶於  $LiFeO_2$  相，耐蝕性優於  $\alpha$  系不銹鋼。Fisher 等人<sup>(5)</sup> 研究多種金屬在 650°C 熔融碳酸鹽陽極氣氛 (68%  $H_2$  + 17%  $CO_2$  + 15%  $H_2O$ ) 的腐蝕行為，結果顯示，銻、鈹、銀、金、Nickel 200 及 Monel 400 等金屬及合

金不會腐蝕， $\gamma$  系不銹鋼則有微量的腐蝕，然而合金元素及結晶構造對不銹鋼等材料在熔融碳酸鹽陽極氣氛腐蝕行為的影響，並未見深入的探討。所以本實驗擬以  $\alpha$  系、 $\gamma$  系及雙相不銹鋼，研究其合金元素及結晶構造，對於 650°C 熔融碳酸鹽 (62mol%  $Li_2CO_3$  及 38mol%  $K_2CO_3$ ) 在上述陽極氣氛下腐蝕行為的影響。

## 二、實驗方法

本研究使用市售各類型不銹鋼材料，其種類及成份如表 1 所示。腐蝕實驗試片尺寸分為完全浸漬型 (2×10×20mm) 及半浸漬型 (2×10×50mm)，試片以碳化矽砂紙研磨至 #600 後在丙酮溶液中以超音波振盪洗淨。

靜態腐蝕裝置如圖 1 所示<sup>(6)</sup>，熔融電解質組成為 62mol%  $Li_2CO_3$  及 38mol%  $K_2CO_3$  共晶成份，準確稱重後混合均勻與試片放入純度 99.5% 氧化鋁坩堝內 (容量 30ml)。實驗前先通  $CO_2$  排除反應室中的空氣。實驗溫度為 650°C，流動氣氛為熔融碳酸鹽燃料電池的陽極氣氛 (68%  $H_2$  + 17%  $CO_2$  + 15%  $H_2O$ )，經 110 小時浸漬測試。腐蝕試驗結束後，浸漬試片經水洗、丙酮超音波洗淨及腐蝕生成物去除後稱重，測定試驗前後重量變化。

半浸漬試片經水洗、丙酮超音波洗淨後，使用 SIMENS D5000 型 X-ray 繞射儀、JEOL JXA8800M 型 EPMA 及 HITACHI S2400 型 SEM 分析腐蝕層型態、元素分佈及結構。

表 2 試片在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% H<sub>2</sub>+17% CO<sub>2</sub>+15% H<sub>2</sub>O 氣氛中腐蝕測試 110 小時後的重量損失 (mg/cm<sup>2</sup>)

Table 2 Weight loss of specimens after the immersion test for 100 hours at 650 °C in molten carbonate salt under the atmosphere of 68% H<sub>2</sub>+17% CO<sub>2</sub>+15% H<sub>2</sub>O

材料	重量損失
SUS 304	5.99
SUS 310	2.27
SUS 316	3.25
SUS 430	10.72
UNS 32205	3.78

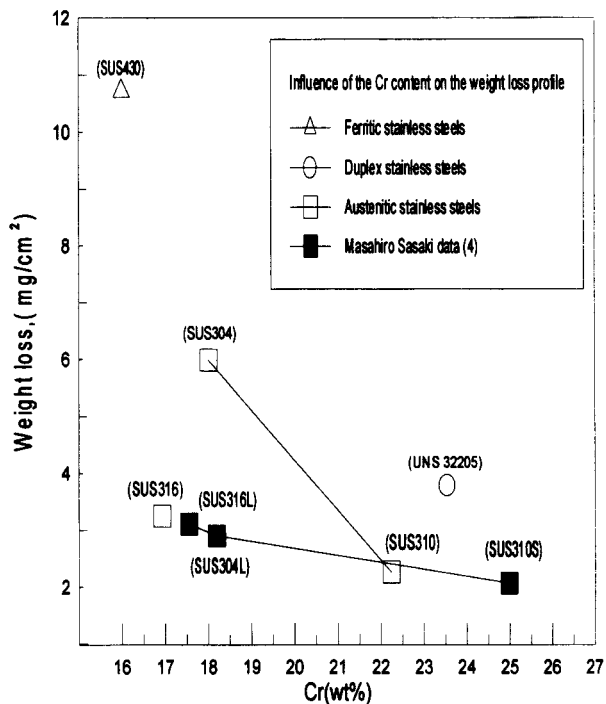


圖 2 Cr 含量對不銹鋼在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% H<sub>2</sub>+17% CO<sub>2</sub>+15% H<sub>2</sub>O 氣氛中腐蝕測試 110 小時重量損失的影響。

Fig. 2 Effect of Cr contents of stainless steel on the weight loss after the immersion test for 100 hours at 650 °C in molten carbonate salt.

### 三、結果與討論

#### 1. 全浸漬試驗的腐蝕行爲

##### A. 重量損失分析

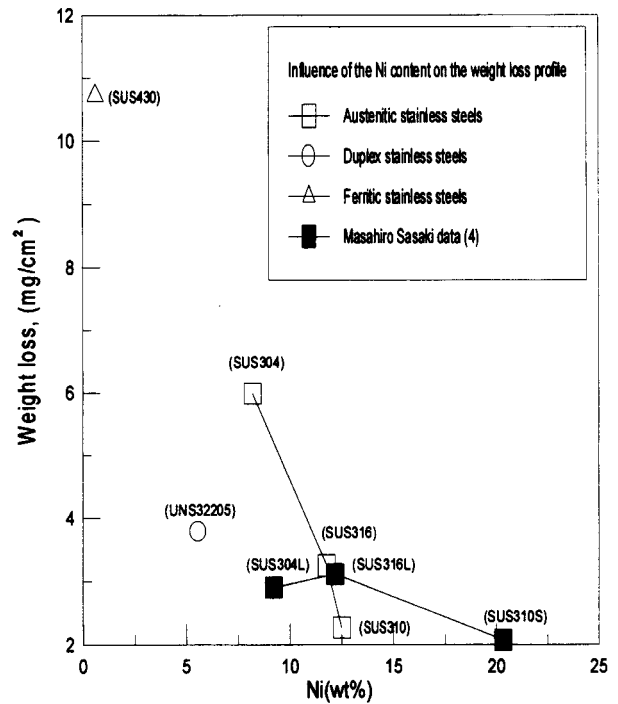


圖 3 Ni 含量對不銹鋼在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% H<sub>2</sub>+17% CO<sub>2</sub>+15% H<sub>2</sub>O 氣氛中腐蝕測試 110 小時重量損失的影響。

Fig. 3 Effect of Ni contents of stainless steel on the weight loss after the immersion test for 100 hours at 650°C in molten carbonate salt.

不銹鋼在 650°C 熔融碳酸鹽陽極氣氛中(68% H<sub>2</sub>+17% CO<sub>2</sub>+15% H<sub>2</sub>O)測試 110 小時後取出，經去除銹皮並量測其重量損失如表 2，其中 α 系不銹鋼重量損失 10.72 mg/cm<sup>2</sup>，γ 系不銹鋼重量損失 2~6mg/cm<sup>2</sup>，雙相不銹鋼重量損失 3.78mg/cm<sup>2</sup>，實驗結果顯示，γ 系不銹鋼的耐蝕性優於 α 系不銹鋼，雙相不銹鋼雖有較佳的耐孔蝕性，但其在高溫熔融碳酸鹽中的耐蝕性則不佳。γ 系不銹鋼中的耐蝕性以 SUS310 最優，而 SUS316 次之，此實驗結果與 Vossen 等人<sup>(7)</sup>研究不銹鋼及鎳基合金在熔融碳酸鹽極化曲線分析結果一致。此與原先預期抗孔蝕能力強之雙相不銹鋼，應具抵抗高溫熔融鹽之能力相左，此亦暗示高溫熔融鹽之腐蝕機構與水溶液腐蝕不盡相同，雖然陽極氣氛中有水氣存在。

表 3 不銹鋼在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% $H_2$ +17% $CO_2$ +15% $H_2O$  氣氛中測試 110 小時後腐蝕層之定量分析(wt %)

Table 3 Quantitative analysis in the corroded layer by EPMA after the immersion test for 100 hours at 650°C in molten carbonate salt

Material \ Element	Fe	Ni	Cr
SUS 304	6.98	1.89	45.15
SUS 310	4.01	3.91	48.62
SUS 316	4.66	5.13	42.33
SUS 430	55.82	0.22	1.07
UNS 32205	16.63	0.08	32.56

## B. 合金元素對腐蝕行為的影響

Cr 及 Ni 含量對不銹鋼試片重量損失的影響分別如圖 2 及圖 3 所示。顯示隨著合金元素 Cr、Ni 含量增加，其重量損失有降低的趨勢。佐佐木等人<sup>(4)</sup>之實驗結果，雖然氣氛及用料不盡相同，但同樣為在熔融碳酸鹽之高溫浸漬，其結果亦顯示在圖上，經比較可得兩者間實驗結果相近，各種不同系列不銹鋼之耐高溫熔融碳酸鹽腐蝕，仍取決於基材鉻及鎳含量的增加，即有抑制腐蝕傾向。但其中值得探討的是兩實驗所用之 304 與 304L 在規範上之差異主要在含碳量由 0.08 降到 0.03wt%，另外所用之含 Ni 量相差約 1%，但其重量損失差異很大，可能肇因於 650°C 之高溫持溫 304 會有過敏化現象，導致材料之耐蝕性降低，當然 316、316L 及 310、310S 均有相同之趨勢，含碳量較低者，抗蝕性也較佳，此點值得進一步探討。

由圖 3 可知當 Ni 含量增加， $\gamma$  系不銹鋼之重量損失隨之明顯下降，此可由利用 EPMA 對不銹鋼腐蝕層進行各合金元素含量的定量分析，如表 3 所示。隨著試片 Ni% 含量的增加，腐蝕層 Fe% 的溶出量有降低的趨勢，亦即耐蝕性亦較優，如 SUS430 不含鎳，其腐蝕層含鐵量高達 55%，而  $\gamma$

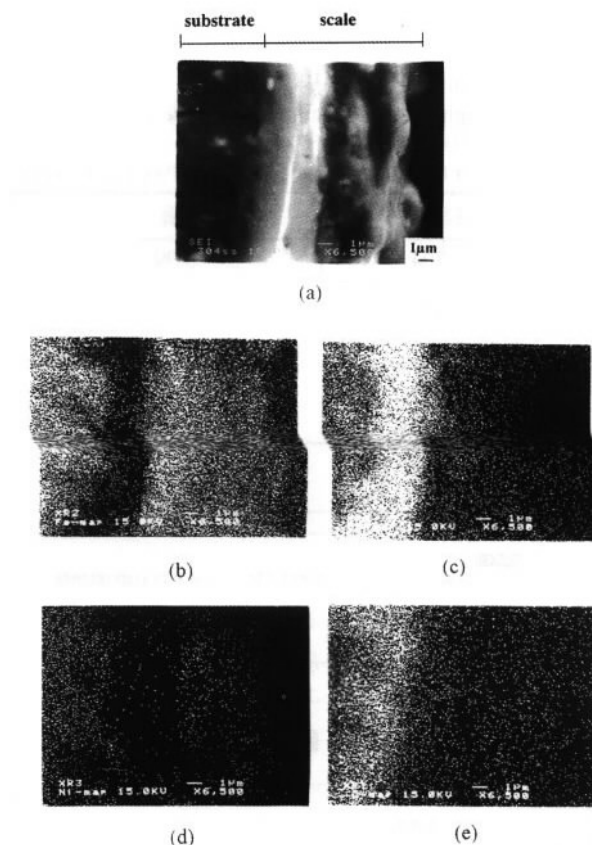


圖 4 SUS304 在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% $H_2$ +17% $CO_2$ +15% $H_2O$  氣氛中腐蝕測試 100 小時 (a) SEI (b) Fe mapping (c) Cr mapping (d) Ni mapping (e) O mapping。

Fig. 4 (a) SEI and X-ray dot maps of (b) Fe, (c) Cr, (d) Ni, and (e) O for SUS 304 stainless steel after the immersion test for 100 hours at 650°C in molten carbonate salt.

系含量均在 10% 以下。佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>研究不銹鋼合金組成對熔融碳酸鹽腐蝕行為之影響亦獲得隨著基材鎳含量的增加，鐵元素溶出量有降低趨勢之結果。亦即 Ni 之含量對不銹鋼材在熔融高溫腐蝕之抑制佔有重要之角色。

## 2. 腐蝕層型態

利用 EPMA 作腐蝕層成份元素定量分析，因 Li 無法測定，所以僅以 Fe、Cr、Ni、O 為測定對象。304 不銹鋼腐蝕層截面的二次電子像(SEI)及各元素分佈(mapping)如圖 4 所示，腐蝕層厚度

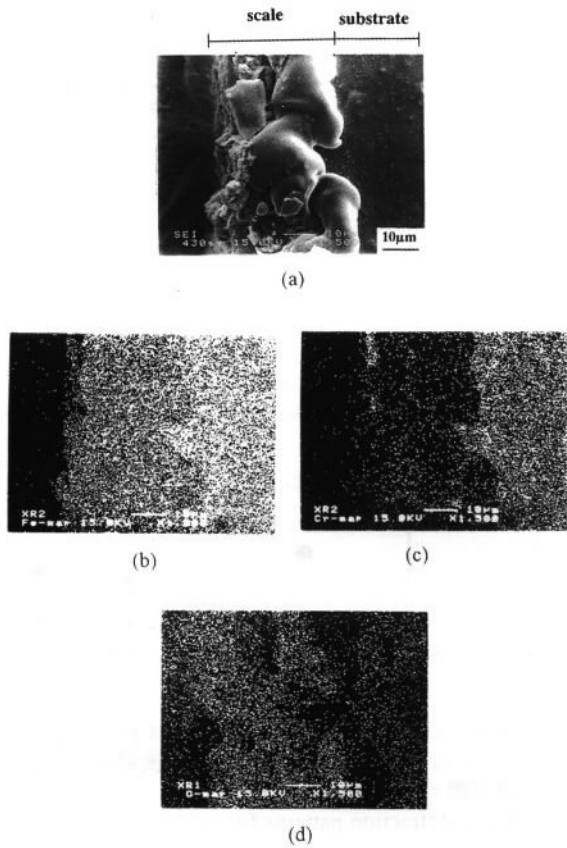


圖 5 SUS430 在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% $H_2$ +17% $CO_2$ +15% $H_2O$  氣氛中腐蝕測試 100 小時(a) SEI (b) Fe mapping (c) Cr mapping (d) O mapping。  
Fig. 5 (a) SEI and X-ray dot maps of (b) Fe, (c) Cr, and (d) O for SUS 430 stainless steel after the immersion test for 100 hours at 650°C molten carbonate salt.

約為 11 $\mu m$ ，從表層向內可概分三層，外層為起伏較大之腐蝕產物，中間為另一層緻密產物，再內即為基材。其相對元素分佈，可看出最外層主要以鐵元素最多並散佈有鎳、鉻及氧元素，中間較緻密層之元素主要以鉻及氧為主。同為  $\gamma$  系之 SUS310 及 SUS316 不銹鋼，其腐蝕層型態及元素成分均與 SUS304 不銹鋼相同，差異在腐蝕層厚度之厚薄。上述  $\gamma$  系不銹鋼腐蝕層的厚度，與 Fisher 等人<sup>(5)</sup>研究金屬及鋼在 650°C 熔融碳酸鹽陽極氣氛中的腐蝕實驗結果相近。而  $\gamma$  系不銹鋼腐蝕層的富鉻及高氧區，經 X-ray 繞射印證為  $Cr_2O_3$ ，此結果與佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>研究不銹鋼合金組成在熔融碳

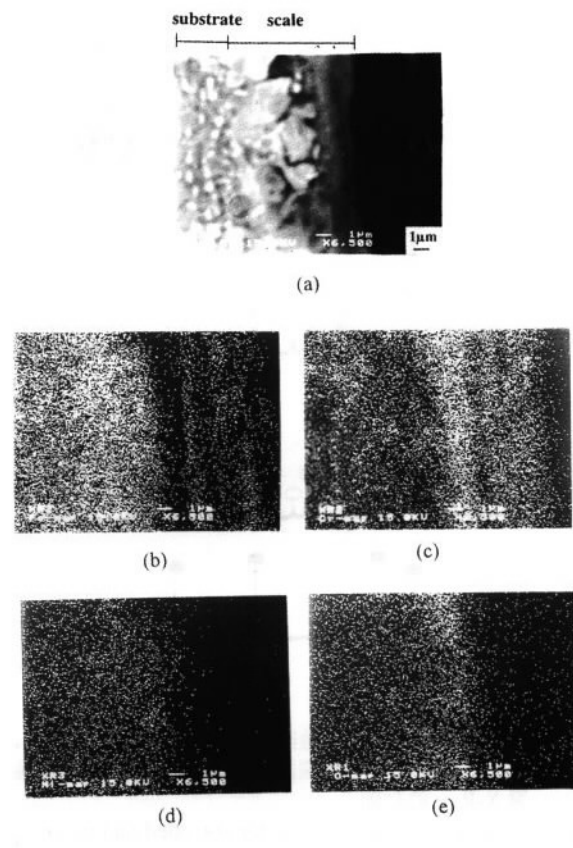


圖 6 UNS 32205 在 650°C 熔融碳酸鹽(62mol%  $Li_2CO_3$ +38mol% $K_2CO_3$ ) 及 68% $H_2$ +17% $CO_2$ +15%  $H_2O$  氣氛中腐蝕測試 100 小時(a) SEI (b) Fe mapping (c)Cr mapping (d) Ni mapping (e) O mapping。  
Fig. 6 (a) SEI and X-ray dot maps of (b) Fe, (c) Cr, (d) Ni, and (e) O for UNS 32205 stainless steel after the immersion test for 100 hours at 650°C in molten carbonate salt.

酸鹽及 30% $CO_2$ +70%air 陰極氣氛中對腐蝕行為之影響，得到  $\gamma$  系不銹鋼腐蝕層內層為  $Cr_2O_3$  之結果一致。緻密  $Cr_2O_3$  層之生成對於  $\gamma$  系不銹鋼在高溫時合金元素之擴散應有極大之降低作用，因此  $\gamma$  系不銹鋼之耐蝕優於  $\alpha$  系及雙相不銹鋼。

430 不銹鋼腐蝕層截面二次電子像及元素分佈，如圖 5 所示，腐蝕層厚度約為 30 $\mu m$ ，外層腐蝕產物凹凸很大，且耐腐蝕性高，腐蝕層的元素分佈主要為鐵及氧，由表 3 亦可知含鉻只有 1wt% 左右，非常低。 $\alpha$  系不銹鋼腐蝕層沒有發現  $Cr_2O_3$ ，而佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>之實驗結果， $\alpha$  系不銹鋼腐

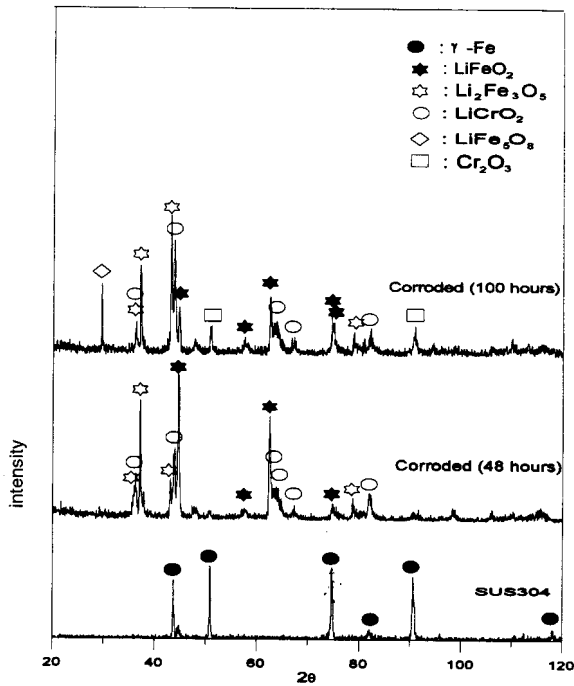


圖 7 SUS304 在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% $H_2$ +17% $CO_2$ +15% $H_2O$  氣氛中腐蝕測試 48 小時及 100 小時後腐蝕層 X-Ray 繞射圖。

Fig. 7 X-ray diffraction patterns for corroded and received SUS 304 stainless steel.

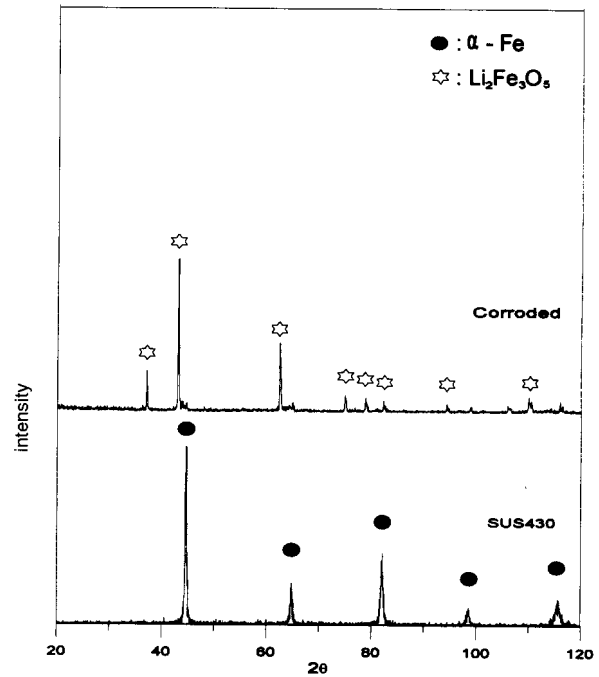


圖 8 AISI430 在 650°C 熔融碳酸鹽及 68%  $H_2$ +17% $CO_2$ +15% $H_2O$  氣氛中腐蝕測試 100 小時後腐蝕層 X-Ray 繞射圖。

Fig. 8 X-ray diffraction patterns for corroded and received SUS 430 stainless steel.

蝕層有  $Cr_2O_3$  存在，其原因是佐佐木雅啓等人測試時間為 1000 小時，當表層聚積足夠量的鉻、氧離子，就會產生  $Cr_2O_3$ 。

UNS 32205 雙相不銹鋼腐蝕層截面二次電子像及元素分佈，如圖 6 所示，腐蝕層厚度約為  $8\mu m$ ，腐蝕層的元素分佈從表面起依次為鐵、鉻及氧之鬆散腐蝕物、富鉻及高氧區及母材。佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>之研究，並未針對雙相不銹鋼進行討論，由本研究以 UNS 32205 雙相不銹鋼之探討結果說明，其腐蝕層最外層較之 SUS430  $\alpha$  系不銹鋼有較高含鉻量（見表 3），因此印證了佐佐木先生所獲得之結論，當  $\alpha$  相中之鉻含量增加，其鉻元素溶出量會增加，但由於雙相不銹鋼另外含有鎳及鉬等合金元素，因此，耐蝕性仍優於 SUS430 不銹鋼。

### 3.3 腐蝕層結構分析

SUS304 不銹鋼腐蝕層 X-ray 繞射圖，如圖 7 所示，可發現  $LiFeO_2$ 、 $Li_2Fe_3O_5$ 、 $LiFe_5O_8$ 、 $LiCrO_2$  及  $Cr_2O_3$ 。不銹鋼腐蝕層 X-ray 繞射圖之實驗結果與 Hsu 等人<sup>(2)</sup>研究鐵在 650°C 熔融碳酸鹽中的腐蝕行為及佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>之實驗結果一致，唯佐佐木雅啓等人未發現  $Li_2Fe_3O_5$  及  $LiFe_5O_8$ ，然由 Hsu 等人<sup>(2)</sup>之實驗結果說明，鐵在 650°C 熔融碳酸鹽中的腐蝕生成物含有  $Li_2Fe_3O_5$ （可寫成  $Li_2O \cdot Fe_3O_4$ ）或  $LiFe_5O_8$ 。根據腐蝕層元素分佈圖，顯示出  $\gamma$  系不銹鋼腐蝕層的鋰鐵氧化物中有鎳元素存在，且腐蝕層內層有  $Cr_2O_3$ ，佐佐木雅啓等人<sup>(4)</sup>在不銹鋼合金組成對熔融碳酸鹽腐蝕行為影響的實驗中說明腐蝕層外層的鎳是以固溶方式存在，且對耐蝕

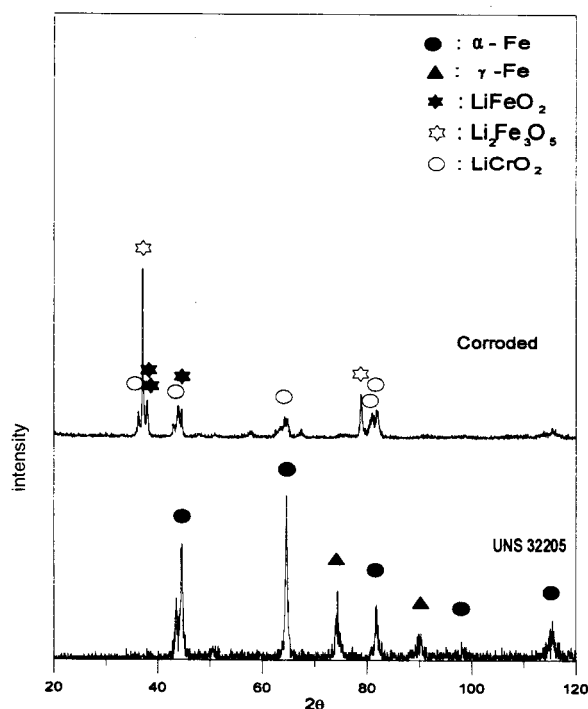


圖9 UNS 32205 在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% H<sub>2</sub>+17%CO<sub>2</sub>+15%H<sub>2</sub>O 氣氛中腐蝕測試 100 小時後腐蝕層 X-Ray 繞射圖。

Fig. 9 X-ray diffraction patterns for corroded and received UNS 32205 stainless steel.

性有提升效果。

SUS430 不銹鋼腐蝕層 X-ray 繞射圖如圖 8 所示，可發現主要為 Li<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub>O<sub>5</sub>。UNS 32205 雙相不銹鋼腐蝕層 X-ray 繞射圖如圖 9 所示，可發現 LiFeO<sub>2</sub>、Li<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub>O<sub>5</sub> 及 LiCrO<sub>2</sub>。佐佐木雅啓由不銹鋼中合金元素擴散實驗<sup>(8)</sup>，說明合金元素在 α 系不銹鋼中的擴散係數較 γ 系不銹鋼快，α 系不銹鋼中 Fe 的擴散 ( $D_{Fe}=3.23 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ ) 又較 Cr 的擴散 ( $D_{Cr}=9.54 \times 10^{-18} \text{m}^2/\text{s}$ ) 快。在 γ 系不銹鋼，Cr ( $D_{Cr}=1.43 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{s}$ ) 的擴散係數大於 Fe ( $D_{Fe}=5.24 \times 10^{-21} \text{m}^2/\text{s}$ ) 及 Ni ( $D_{Ni}=5.26 \times 10^{-21} \text{m}^2/\text{s}$ ) 的擴散係數，且 Cr 的擴散係數隨著成份元素 Cr 含量的增加而提升。而 Fe 的擴散係數，則隨著成分 Ni 含量的增加而降低<sup>(4)</sup>。本實驗 SUS 430 不銹鋼腐蝕層沒有 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作為合金元素擴散之屏障，且鐵元素在 α 相

中的擴散速率較快，所以耐蝕性較差。UNS 32205 雙相不銹鋼雖然有較高的耐孔蝕性，但於高溫熔融碳酸鹽的耐蝕性比 γ 系不銹鋼差，其原因為雙相不銹鋼腐蝕層沒有明顯 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作為合金元素擴散之屏障，且合金元素在 α 相中的擴散速率較快。另由於 UNS 32205 的鎳含量較 γ 系不銹鋼低，所以對鐵元素擴散的抑制效果較差，且在 α 相中，隨著基材鉻含量的增加，鉻的溶出量亦隨之增加。因此其耐蝕較差。綜合腐蝕層型態及 X-ray 繞射分析可知不銹鋼在 650°C 熔融碳酸鹽及 68% H<sub>2</sub>+17%CO<sub>2</sub>+15%H<sub>2</sub>O 氣氛中之耐蝕性，以 γ 系不銹鋼優於雙相及 α 系不銹鋼，而在 γ 系不銹鋼中當鎳及鉻含量增加，其耐蝕性亦較佳。

#### 四、結 論

經由在 650°C 熔融碳酸鹽 (62mol%Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+38%mol%K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 及燃料電池陽極氣氛 (68% H<sub>2</sub>+17%CO<sub>2</sub>+15%H<sub>2</sub>O) 下長時間浸漬，討論各類型不銹鋼之合金元素及結晶構造對其腐蝕行為的影響。其 110 小時的重量損失量，α 系 430 不銹鋼為 10.72mg/cm<sup>2</sup>，γ 系不銹鋼 2~6mg/cm<sup>2</sup>，UNS 32205 雙相不銹鋼 3.78mg/cm<sup>2</sup>。顯示 γ 系不銹鋼的耐蝕性優於 α 系不銹鋼。γ 系不銹鋼在熔融碳酸鹽的耐蝕性，隨著基材 Cr 及 Ni 含量的增加而增加，其腐蝕層主要是鋰鐵氧化物，在腐蝕層的內層有緻密的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層，可抑制材料內部的 Fe 向外擴散，另外在腐蝕層外層鋰鐵氧化物中含有 Ni，Ni 是以固溶方式存在，對耐蝕性有提升的效果。α 系不銹鋼及雙相不銹鋼腐蝕層沒有 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作為合金元素擴散之屏障，且合金元素在 α 相中的擴散速率較快，所以耐蝕性較 γ 系不銹鋼差。

#### 致 謝

本文感謝大同大學基礎研究案 (B88-1727-01) 之經費補助。

## 參考文獻

1. Y. Hishinuma and M. Kunikata, *Energy Convers. Mgmt*, 38 (1997) 1237.
2. H.S. Hsu, J.H. DeVan, and M. Howell, *J. Electrochem. Soc.*, 12 (1987) 3038.
3. E. Passalacqua, S. Freni, F. Barone, and A. Patti, *Materials Letters*, 29 (1996) 177.
4. M. Sasaki, S. Ohta, and N. Igata, *Zairyo-to-Kankyo*, 45 (1996) 192.
5. J.M. Fisher, P.S. Bennett, *J. of Materials Science*, 26 (1991) 749.
6. 翁光良，私立大同工學院，碩士論文，1998。
7. J.P.T. Vossen and L. Plomp, *J. Electrochem. Soc.*, 142 (10) (1995) 3327.
8. M. Sasaki, S. Ohta, M. Asano, and N. Igata, *Zairyo-to-Kankyo*, 45 (1996) 201.