

國立交通大學
材料科學與工程研究所

碩士論文

鋁及鉻含量對鐵-錳-鋁-鉻-碳合金

腐蝕及機械性質之影響

**Effects of Al and Cr Contents on Corrosion
and Mechanical Properties of
Fe-Mn-Al-Cr-C Alloys**



研究生：蔡政堯

指導教授：劉增豐教授

中華民國九十四年七月

鋁及鉻含量對鐵-錳-鋁-鉻-碳合金腐蝕及機械性質之影響

Effects of Al and Cr Contents on Corrosion and Mechanical

Properties of Fe-Mn-Al-Cr-C Alloys

研究生：蔡政堯

Student : Cheng-Yao Tsai

指導教授：劉增豐 博士

Advisor : Dr. T. F. Liu

國立交通大學
材料工程與科學系
碩士論文



Submitted to Department of Materials Science and Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Materials Science and Engineering

July 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年七月

致謝

感謝指導教授**劉增豐**博士兩年來細心的照顧與敦敦的教誨，尤其在碩士論文上的傾心幫忙，才能使得學生能順利完成論文。在此對吾師**劉增豐**教授以及師母**林美慧**老師致上最大的敬意與謝意。

研究期間，特別感謝**李堅瑋**博士在論文上指導及實驗上的教導；另外，感謝**王承舜**、**楊勝裕**、**段逸軒**、**蔡國棟**、**林金雄**、**蘇俊瑋**及**林志龍**各位博士班的學長在各類儀器之操作分析以及生活上諸多事項給予指導。謝謝同學**翁瑞陞**、**曾傑享**、**謝宜峰**、**魏伸泓**、**黃彰賓**及**劉祐鈞**在碩士班的兩年生活中，同甘共苦，相互扶持，在忙碌的之餘，一起出遊或來一場 AOC 放鬆一下。也感謝碩一**陳信良**和**郭柏村**學弟，在實驗上的幫忙，在休息的時後一起聊天、開開小玩笑。也感謝台大表面處理實驗室**李偉任**同學給我在實驗儀器上的幫助。在本實驗室上下一心的情況下得以完成本篇論文。尤其國科會的經費的補助，使得本實驗可以在順利的完成。

最後，僅將此論文成果獻給我最敬愛的爸爸、媽媽、弟弟以及我的女友**陳佩伶**，感謝他們的鼓勵、關心及支持，使我在安定舒適的生活環境下完成學業，順利的拿到碩士學位。

摘要

本篇論文的目的是利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及穿透式電子顯微鏡 (TEM) 來觀察在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳及鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金中添加重量百分比 3.0wt. %, 5.0 wt. %, 6.5 wt. % 及 8.0 wt. % 鉻含量經 1100°C、2 小時固溶熱處理並淬火至室溫後，其顯微結構之變化，並利用萬能拉伸試驗機 (instron)、恆電位儀、X 光光電子能譜分析 (XPS) 與鹽霧試驗機來探討成份及顯微結構對合金機械性質和抗蝕性的影響。

在本研究中，未添加鉻之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金，在電化學腐蝕測試後，並無明顯之鈍化區形成，但在合金中添加鉻含量後，可發現明顯之鈍化區存在。當在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金中添加鉻含量達 6.5wt. % 時，將在合金表面形成氧化鉻 (Cr_2O_3) 及氧化鋁 (Al_2O_3) 之緻密氧化鈍態膜，使合金在動態極化曲線中呈現穩定且寬廣的鈍化區與最低之腐蝕電流密度 (i_p)，且在 24 小時鹽霧試驗後具有最佳之抗蝕能力。然而，當在此合金中添加之鉻含量達 8.0wt. % 時，將因碳化鉻 ($(\text{Fe, Mn, Cr})_7\text{C}_3$) 之形成，發生孔蝕之現象，造成合金抗蝕性下降。另外，我們發現在相同鉻含量之

Fe-Mn-Al-Cr-C 系合金中，當鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，合金的抗蝕性亦隨之增加，而在鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金中添加鉻含量達 5.0wt.% 時，可使合金在動態極化曲線中呈現穩定且寬廣的鈍化區與極低之腐蝕電流密度 (i_p)，且在 24 小時鹽霧試驗後仍具有極佳之抗蝕能力。然而，當在此合金中添加之鉻含量達 6.5wt.% 或以上時，將因碳化鉻 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 之形成，發生孔蝕之現象，造成合金抗蝕性下降。

除此之外，本研究之合金利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及穿透式電子顯微鏡 (TEM) 觀察下，發現其顯微結構為樹枝狀之顯微結構和樹枝狀枝臂間隙交錯分佈。樹枝狀之顯微結構為沃斯田鐵相 (γ) 和具有 $L'1_2$ 結構之微細 κ' 碳化物共存，樹枝狀枝臂間隙則為肥粒鐵 (α) 相。其沃斯田鐵相與肥粒鐵相之比值 (γ/α) 將隨鉻含量增加而減少，造成合金機械強度增加，延伸率下降。然而，當在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金中添加 8.0wt.% 鉻時，發現 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 硬而且脆之碳化鉻在樹枝狀枝臂間隙析出，使破斷模式由延性破裂轉變為脆性破裂，造成延性急劇下降。此外，當鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，合金中添加鉻含量只要達 6.5wt.% 時，即可發現碳化鉻 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 析出，且在樹枝狀枝臂間隙內之肥粒鐵相將轉變為 DO_3 有序相，使合金更具脆性。

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the microstructural developments, mechanical properties and corrosion resistance of the Fe-30wt.%Mn-7wt.%Al-(0,3,5,6.5,8)wt.%Cr-1.5wt.%C and Fe-30wt.%Mn-9wt.%Al-(3,5,6.5,8)wt.%Cr-1.5wt.%C alloys by means of scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, instron, electrochemical measurements, X-ray photoelectron spectroscopic (XPS) and salt fog test method.

In this study, it is clearly seen that no evidence of passivation region could be found in the Fe-30Mn-7Al-1.5C alloy after electrochemical corrosion test. With increasing the chromium content, the passivation region of the alloy could be obviously investigated. The increase of chromium content above 6.5wt.% in the Fe-30Mn-7Al-1.5C alloy, there were advanced the outmost surface of the passive films formed on the surface of the alloys, which were consisted of chromium oxide (Cr_2O_3) and aluminum oxide (Al_2O_3). It is also seen in the potentiodynamic polarization curves that the alloy possesses a stable and broad passivation region and the minimum corrosion

current density (i_p), and have the best corrosion resistance after 24 hours salt fog test. However, when the chromium content was increased above 8.0wt.% in the Fe-30Mn-7Al-1.5C alloy, the corrosion resistance would be decreased caused by pitting. The pitting phenomenon of the alloy was induced by the formation of the $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ chromium carbides. In addition, when the aluminum content in the Fe-Al-Mn-Cr alloys was increased from 7wt.% to 9wt.%, the corrosion resistance was increased. In the Fe-30Mn-9Al-1.5C alloy, the chromium content was increased above 5.0wt.% the potentiodynamic polarization curves of alloys exhibited stable and broad passivation region and the lower corrosion current density (i_p), and have the excellent corrosion resistance after 24 hours salt fog test. However, when the chromium content was increased above 6.5wt.% the corrosion resistance was also found to decrease caused by pitting. The pitting phenomenon of the alloy was also induced by the formation of the $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ chromium carbides.

The transmission electron microscopy (TEM) and scanning

electron microscopy (SEM) observations indicated that the microstructure of the alloys were dendrite and inter-dendrite distribution. In the as-quenched condition, the fine κ' carbides having an $L'1_2$ -type structure were formed within the austenite (γ) matrix with a dendrite structure, and the ferrite (α) phase was as an inter-dendrite structure. Mechanical test indicated that the mechanical strength could be increased and the elongation would be decreased with decreasing the ratio of the γ to α . However, when the chromium content was above 8.0wt.%, the brittle $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ chromium carbides were found to appear in the inter-dendrite. Therefore, the fracture mechanism would transition from ductile fracture to brittle fracture and the ductility would drop suddenly. Besides, the ordered $D0_3$ phase could be examined within the inter-dendrite in the Fe-30Mn-9Al-1.5C with $Cr \geq 6.5$ wt.% alloys, which caused the alloy to be very brittle.

內容目錄

| | |
|---------------|----|
| 摘要..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| 內容目錄..... | 6 |
| 圖說明..... | 7 |
| 表格說明..... | 12 |
| 前言..... | 13 |
| 實驗步驟..... | 15 |
| 結果與討論..... | 19 |
| 結論..... | 78 |
| 參考文獻..... | 81 |



圖 說 明

圖 1 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳系合金在 25 °C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

圖 2 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳系合金在 25 °C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

圖 3 7Al-3.0Cr 及 9Al-3.0Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

圖 4 7Al-5.0Cr 及 9Al-5.0Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

圖 5 7Al-6.5Cr 及 9Al-6.5Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

圖 6 7Al-8.0Cr 及 9Al-8.0Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

圖 7 7Al 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時測試圖

圖 8 7Al-3.0Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時測試圖

圖 9 7Al-5.0Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 10 7Al-6.5Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 11 7Al-8.0Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 12 9Al-3.0Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 13 9Al-5.0Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 14 9Al-6.5Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 15 9Al-8.0Cr 合金進行 5%氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

圖 16 7Al 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深
(sputtering time) 圖

圖 17 7Al-3.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對
縱深 (sputtering time) 圖

圖 18 7Al-5.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 19 7Al-6.5Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 20 7Al-8.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 21 9Al-3.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 22 9Al-5.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 23 9Al-6.5Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 24 9Al-8.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對

縱深 (sputtering time) 圖

圖 25 (a) 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳

合金拉伸試驗後機械強度之曲線圖 (b) 添加不同鉻

含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金拉伸試驗後機械強度

之曲線圖

圖 26 7Al 合金經拉伸試驗後破斷面之掃描式電子顯微鏡

(SEM) 照片

- 圖 27 7A1-3.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 28 7A1-5.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 29 7A1-6.5Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 30 7A1-8.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 31 9A1-3.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 32 9A1-5.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 33 9A1-6.5Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 34 9A1-8.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片
- 圖 35 7A1-3.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片
- 圖 36 7A1-5.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片
- 圖 37 7A1-6.5Cr 合金 SEM 顯微結構照片
- 圖 38 7A1-8.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片
- 圖 39 (a) 取自圖 35 標示 A 的 TEM 明視野照片
- 圖 39 (b) 取自圖 39 (a) 之擇區繞射圖型 (SADP)，區軸為 $[001]$
- 圖 40 (a) 取自圖 35 標示 B 的 TEM 明視野照片
- 圖 40 (b) 取自圖 40 (a) 之 SADP，區軸為 $[001]$
- 圖 41 (a) 取自圖 38 標示 C 的 TEM 明視野照片
- 圖 41 (b) 取自圖 41 (a) 標示 D 之 SADP，區軸為 $[1100]$

圖 42 9A1-3.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

圖 43 9A1-5.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

圖 44 9A1-6.5Cr 合金 SEM 顯微結構照片

圖 45 9A1-8.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

圖 46 (a) 取自圖 44 標示 E 的 TEM 明視野照片

圖 46 (b) 取自圖 46 (a) 標示 F 之 SADP，區軸為 $[001]$

圖 46 (c) 取自圖 46 (a) 標示 G 之 SADP，區軸為 $[1100]$



表格說明

- 表 1 合金化學組成表
- 表 2 合金在 5% 氯化鈉水溶液中進行電化學腐蝕測試動態極化曲線參數表
- 表 3 合金經鹽霧試驗後合金表面腐蝕生鏽面積比率(紅鏽)
- 表 4 為經 XPS 分析後之不同元素價電子其個別所屬之波峰的束縛能 (Binding Energy, E_b)
- 表 5 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金經 XPS 分析後之鈍化層元素原子百分比表
- 表 6 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金經 XPS 分析後之鈍化層元素原子百分比表
- 表 7 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金經拉伸測試後其機械性質數據表
- 表 8 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金經拉伸測試後其機械性質數據表

1. 前 言

近年來，鐵鋁錳合金已被許多專家學者廣泛研究，主要的研究方向為將鐵鋁錳合金發展成一種具有高強度及高韌性的合金鋼【1~25】。本研究群亦已經成功地發展出具有低密度（ $6.6\sim 6.8\text{ g/cm}^3$ ）、高強度（ $150\sim 180\text{ ksi}$ ）及高延展性（ $25\sim 60\%$ ）等優異機械性質的鐵鋁錳碳合金【26~33】。雖然，鐵鋁錳合金在開發初期主要目的為取代含有高鉻、高鎳等具戰略價值的不銹鋼【34~41】，然而，根據前人研究結果發現【42~43】，具有優異機械性質之四元鐵鋁錳碳合金其抗蝕性仍遠不及傳統的鐵鉻鎳系不銹鋼。

由於鐵鋁錳碳合金的優異機械性質已被成功應用在產業界，並已進行量產，但因鐵鋁錳碳合金在氯化鈉水溶液中的抗蝕性雖稍優於一般碳鋼，但仍遠不及傳統的鐵鉻鎳系不銹鋼【44~73】，造成鐵鋁錳碳合金在產業應用上受到極大的限制，有鑑於此，如何提升鐵鋁錳碳合金的抗蝕能力即成為此合金在應用上極大的關鍵。

因此，本篇論文將利用合金設計的原理，設計一系列鐵鋁錳碳系合金並使用穿透式電子顯微鏡（transmission electron microscope, TEM）、掃描式電子顯微鏡（scanning

electron microscope, SEM)、鹽霧試驗機、萬能拉伸試驗機 (instron)、恆電位儀、X 光光電子能譜分析 (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) 等儀器研究並分析其抗腐蝕性、機械性質及顯微結構組織，而開發出一種同時具有優異機械性質且能夠通過 5% 氯化鈉水溶液之電化學測試及 24 小時鹽霧試驗的鐵鋁錳碳合金。



2. 實驗步驟

2.1 合金備製

本實驗所使用合金之製備，主要利用電解鐵（99.5%）、電解鋁（99.7%）、電解錳（99.9%）、工業用純鉻和純碳粉末在高週波爐中熔鍊鑄造，並鑄入拉伸試棒殼模中，接著在Ar氣氛保護下進行1100°C之均質化24小時，隨後在真空爐管中進行1100°C固溶熱處理（solution heat-treated, SHT）2小時後迅速淬火至水中。本篇論文之一系列設計合金的化學成份列在表1。



2.2 拉伸試驗

將本論文所設計之一系列合金拉伸試棒，利用萬能拉伸試驗機（instron 8501）進行拉伸試驗。在室溫下以固定位移拉伸模式進行拉伸測試，位移量為0.1mm/sec，量測降伏強度與抗拉強度以及換算其延伸率。

2.3 抗腐蝕能力測試

(1) 電化學腐蝕測試動態極化曲線

首先把試棒以水冷式砂輪切割機剪裁尺寸成12mm ×

12mm × 5mm 之試片，將試片冷鑲埋後以水砂紙研磨至2000號並以氧化鋁粉水溶液拋光，再以丙酮清洗試片表面，隨後用防蝕膠帶使其表面露出為1平方公分，接著利用恆電位儀（princeton applied research model 273 galvanostat/potentiostat）配合電腦運算軟體，在5.0% 氯化鈉水溶液中，以5 mV/sec之掃描速率，由-1.0V掃描至0.5V，量測其動態極化曲線，觀察並紀錄其電位與電流之數值。試片為工作電極，Ag/AgCl為參考電極，白金電極（Pt, 20mm×20mm）為相對電極，實驗皆在25°C± 2°C下進行。

(2) 鹽霧試驗

先將試片以水砂紙研磨至 1200 號並以氧化鋁粉水溶液拋光，再以丙酮清洗試片表面，隨後利用鹽霧試驗機（ASTM B117）在 5.0% 氯化鈉水溶液中，並控制溫度在 35°C，進行 24 小時鹽霧測試，依固定的時間將試片取出測量其腐蝕的程度及其紅鏽面積。

(3) X光光電子能譜分析（XPS）

首先將電化學腐蝕測試後之合金，以水冷式砂輪切割機剪裁成厚度約 0.5cm，面積小於 1 cm×1cm 之正方形或直徑約 1cm 之圓形試片，隨後以 X 光光電子能譜分析（X-ray

photoelectron spectroscopy, XPS) 進行試片最外層表面鈍化層化學組成之縱深分佈分析 (depth profile)，並將分析之結果作圖。

2.4 顯微結構觀察及分析

(1) 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 分析

試片經研磨、拋光並以 50% 之硝酸蝕刻，再以丙酮清洗試片表面，即可在掃描式電子顯微鏡 (JEOL-6500FX, 15KV) 下觀察橫切面之微結構。經拉伸試驗後之破斷面以水冷式砂輪切割機剪裁其橫切面，即可在掃描式電子顯微鏡 (HITACHI S-2500, 30KV) 下觀察破斷面之顯微結構。

(2) 掃描穿透式電子顯微鏡 (STEM) 分析

掃描穿透式電子顯微鏡 (STEM) 試片製作如下：首先將試片厚度研磨至 50~100nm，再以 double-jet 電子拋光機來打薄，使用 25% 醋酸、15% 過氧酸及 60% 乙醇為溶液，拋光溫度控制在 -30°C 到 -20°C 之間，電流強度大約在 3.5 到 4×10^4 A/m²。試片製備完成後即可在掃描穿透式電子顯微鏡

(JEOL-2000FX, 200KV) 下觀察顯微結構，並利用配置在 STEM 上的能量散佈光譜儀 (EDS) 對觀察的區域作成份分析。



3. 結果與討論

3.1 鈍化抗蝕特性 (passive and corrosion resistance)

圖 1 為添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金於 5% 氯化鈉水溶液中，在室溫下，以每秒 5mV 的速率掃描之電化學腐蝕測試動態極化曲線。表 2 為合金的電化學極化曲線實驗參數。由圖 1 之合金極化曲線圖及表 2 電化學極化曲線實驗參數數據顯示，不含鉻之 7Al 合金其腐蝕電位 (E_{corr}) 比添加重量百分比 3.0, 5.0, 6.5 及 8.0 鉻之合金來的低，且並無發現明顯之鈍化區。然而，當在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金中添加 3.0wt.% 以上之鉻時，如合金 7Al-3.0Cr，即發現合金有明顯的鈍化現象，其極化曲線清楚呈現穩定而寬廣之鈍化區，腐蝕電位 (E_{corr})、孔蝕電位 (E_{pp}) 及臨界電位 (E_{cr}) 等電化學參數數值亦因此朝正電位方向增加，其鈍化電流 (i_p) 約為 1.9×10^{-5} 。此外，當在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金中添加 5.0wt.% 及 6.5wt.% 鉻時，如圖 1 及表 2 所示，其腐蝕電位 (E_{corr})、孔蝕電位 (E_{pp}) 及臨界電位 (E_{cr}) 等電化學參數數值將持續朝正電位方向穩定增加，相較於添加 3.0wt.% 鉻之 7Al-3.0Cr 合金具有更低之鈍化電流

(i_p)，且所形成之鈍化區更寬廣。

然而，當添加之鉻含量到達 8.0wt.% (如 7Al-8.0Cr 合金) 時，由圖 1 之極化曲線與表 2 數據可清楚得知，不僅鈍化區之範圍有縮減之趨勢，其腐蝕電位 (E_{corr})、孔蝕電位 (E_{pp}) 及臨界電位 (E_{cr}) 等電化學參數數值反而因鉻含量的增加而降低，鈍化電流 (i_p) 亦因此增加。

圖 2 為鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金電化學腐蝕測試動態極化曲線。由圖 2 之結果明顯得知，當在鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金中添加 3.0wt% 及 5.0wt% 鉻時，其腐蝕電位 (E_{corr})、孔蝕電位 (E_{pp}) 及臨界電位 (E_{cr}) 等電化學參數數值將朝正電位方向穩定增加，具有極低值之鈍化電流 (i_p)，並形成穩定而寬廣之鈍化區。但是，若添加之鉻含量到達 6.5wt.% 或以上時 (如 9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金)，由圖 2 之極化曲線與表 2 數據可清楚得知，不僅鈍化區之範圍大幅縮減，其腐蝕電位 (E_{corr})、孔蝕電位 (E_{pp}) 及臨界電位 (E_{cr}) 等電化學參數數值也因鉻含量的增加而降低，鈍化電流 (i_p) 亦因此增加。

當比較圖 1 與圖 2 之極化曲線及表 2 電化學參數之間的

差異性，發現在相同鉻含量如 3.0wt.% 和 5.0wt.% 鉻之鐵鋁錳鉻碳合金中，當鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，不但在極化曲線上之鈍化區範圍將更形寬廣，且電化學參數數值有更優異的表現。此結果可由圖 3 及圖 4 得到證明，以圖 3 為例，此圖為同樣含有 3.0wt.% 鉻的 7Al-3.0Cr 和 9Al-3.0Cr 合金之極化曲線比較圖，可清楚得知含 9wt.% 鋁之 9Al-3.0Cr 合金鈍化區之範圍優於含 7wt.% 鋁含量之 7Al-3.0Cr 合金。同樣的，在圖 4 中亦可看到相似之結果，同樣含有 5.0 wt.% 鉻的 7Al-5.0Cr 與 9Al-5.0Cr 兩種合金，含 9wt.% 鋁的 9Al-5.0Cr 合金電化學參數優於含 7wt.% 鋁的 7Al-5.0Cr 合金。然而，由圖 5 得知，先前所提及之 9Al-6.5Cr 合金，因添加之鉻含量到達 6.5wt.% 時，導致鈍化區之範圍大幅縮減，其電化學參數在抗蝕上的表現反而不如含相同鉻含量之 7Al-6.5Cr 合金。此外，由圖 6 可發現，在相同 8.0 wt.% 鉻含量下，7Al-8.0Cr 與 9Al-8.0Cr 合金電化學參數均較之前含鉻的合金差。

為了能更進一步了解添加鉻及增加鋁含量對鐵鋁錳碳合金腐蝕行為之影響，我們將合金以 5% NaCl 水溶液做 24 小時之鹽霧試驗 (salt fog test)，測試結果如圖 7 至圖 15，

表 3 則為此系列合金經 24 小時鹽霧試驗後的表面腐蝕生鏽（紅鏽）比例表。由 7 至 15 圖並配合表 3 之數據可明顯看見不含鉻之 7Al 合金經鹽霧試驗後表面被嚴重腐蝕，呈現極差之抗蝕能力，但隨著在含 7wt.% 鋁之鐵鋁錳碳合金中分別添加 3.0wt.%、5.0wt.% 及 6.5wt.% 之鉻後，不僅試片表面抵抗腐蝕能力增加，甚至在含 6.5wt.% 鉻之 7Al-6.5Cr 合金表面完全不會生鏽，如圖 10 所示。然而，當添加之鉻含量到達 8.0wt.% 時（如圖 11 所示），將發現有孔蝕（pitting）現象發生，使試片表面呈現出不佳之抗蝕能力。同樣的，在含 9wt.% 鋁之鐵鋁錳碳合金中分別添加 3.0wt.% 及 5.0wt.% 之鉻後，不僅試片表面抵抗腐蝕能力大幅增加，甚至在含 5.0wt.% 鉻之 9Al-5.0Cr 合金表面完全不會生鏽，如圖 13 所示。然而，當添加之鉻含量到達 6.5wt.% 及 8.0wt.% 時（如圖 14 及 15 所示），將發現有孔蝕現象發生，使試片表面之抗蝕性表現不佳。另外，由分析表 3 發現在含相同鉻含量時，含 9wt.% 鋁之合金其抗蝕性的表現優於含 7wt.% 鋁含量之合金。因此，圖 7 至圖 15 所顯示之結果與我們先前利用電化學腐蝕測試動態極化曲線結果是一致的。

經由上述之實驗結果可發現，在鐵鋁錳碳合金中添加少量之鉻，將在極化曲線中形成穩定且寬廣之鈍化區，進而提高其抗蝕性，再者，適度增加鋁含量亦可提高鐵鋁錳碳合金之抗蝕性。值得注意的是，在含 7wt.% 鋁合金中添加鉻含量超過 8.0wt.% 或在含 9wt.% 鋁合金中添加鉻含量超過 6.5wt.% 以上時，其抗蝕性會明顯降低。

為了更進一步探討添加鉻及增加鋁含量對合金抗蝕性之影響，除了利用電化學腐蝕測試動態極化曲線與鹽霧試驗來分析外，我們亦藉由 X 光光電子能譜分析 (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS/ESCA) 所設計之合金最外層表面鈍化層化學組成及特性。表 4 為經 XPS 分析後之不同元素價電子其個別所屬之波峰的束縛能 (Binding Energy, E_b)。由表 4 可知，不同元素價電子 Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} 之存在主要是因為在合金表面鈍化層中所形成的氧化鐵 (FeO 或 Fe_3O_4 , Fe_2O_3)、氧化錳 (MnO 或 Mn_3O_4 , Mn_2O_3)、氧化鋁 (Al_2O_3) 及氧化鉻 (Cr_2O_3) 等氧化物。表 5 及表 6 為合金在 5.0% NaCl 水溶液中形成鈍化層，經 XPS 縱深分析後之元素原子百分比。圖 16 至圖 24 則為利用表 5 及表 6 所獲得之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 作圖得

到的一系列圖組。由圖 16 至圖 24 之分析我們可以得知，不論是含 7wt. % 鋁含量之 7Al-3.0Cr、7Al-5.0Cr、7Al-6.5Cr 及 7Al-8.0Cr 合金或者是含 9wt. % 鋁之 9Al-3.0Cr、9Al-5.0Cr、9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金，氧原子濃度隨著縱深的增加或 sputtering time 的增加而減少，主要因為具金屬性之元素傾向由氧化物轉變成金屬，且合金表面之鈍化層將隨縱深或 sputtering time 之增加而逐漸消失。仔細比較基地與鈍化層間合金元素之濃度，將明顯發現鐵與錳金屬元素原子百分比在鈍化層突然地銳減，而在鈍化層含高量之鋁及鉻元素原子百分比，根據表 4 可知此現象主要歸因於氧化鋁 (Al_2O_3) 及氧化鉻 (Cr_2O_3) 等氧化物之存在，且隨著鉻含量之增加，氧化鉻 (Cr_2O_3) 之比例亦相對提高。此外，我們亦發現在相同鉻含量下，含 9wt. % 鋁之合金其在鈍化層氧化鋁 (Al_2O_3) 的比例也高於含 7wt. % 鋁含量之合金。

因此，合金在 5.0% NaCl 水溶液中擁有優異之鈍化特性，歸因於合金之最外層表面有高比例的氧化鋁 (Al_2O_3) 及氧化鉻 (Cr_2O_3) 的存在，以及低比例不具保護作用的氧化鐵及氧化錳。而且隨著鉻及鋁含量之增加，其氧化鋁 (Al_2O_3) 及氧化鉻 (Cr_2O_3) 比例亦隨著增加。此結果與我們先前利用

電化學腐蝕測試動態極化曲線與 24 小時之鹽霧試驗結果一致，由此可知為何在添加鉻金屬元素與增加鋁金屬元素含量下，可提高鐵鋁錳碳合金之抗蝕性。然而，上述結論並無法解釋或證明為何在 7Al-8.0Cr、9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金中，由於鉻含量之增加，其抗蝕性卻大幅衰減，此原因將在稍後做詳細之說明。



3.2 破裂面與合金機械性質 (fracture surface and mechanical property of alloys)

表 7 及表 8 為我們利用萬能拉伸試驗機(instron 8501)作拉伸測試之結果。圖 25 (a) 及圖 25 (b) 為利用表 7 及表 8 拉伸測試數據所繪製之曲線圖。由表 7 和圖 25 (a) 可得知，不含鉻之 7Al 合金具有極佳之延伸率 (elongation) 和最低值之抗拉 (tensile stress) 及降伏強度 (yield stress)，但隨著在含 7wt. % 鋁之鐵鋁錳碳合金中分別添加 3.0wt. %、5.0wt. % 及 6.5wt. % 鉻後，合金的延伸率會隨著鉻含量的增加而呈現明顯下降之現象，其抗拉及降伏強度則因此有逐漸上升之趨勢。然而，當添加之鉻含量到達 8.0wt. % 時 (如 7Al-8.0Cr 合金)，其延伸率將大幅度驟減。同樣的，由表 8 及圖 25 (b) 觀察可知，在含 9wt. % 鋁之鐵鋁錳碳合金中分別添加 3.0wt. % 及 5.0wt. % 之鉻後，合金的延伸率亦會隨著鉻含量的增加而呈現明顯下降之現象，而其抗拉及降伏強度有逐漸上升之趨勢。但是，當添加之鉻含量到達 6.5wt. % 或以上時 (如 9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金)，其延伸率甚至急劇下降至約 10% 或以下。

此外，在仔細比對表 7 與表 8 後，我們發現在含相同鉻

含量時，含 9wt. % 鋁之合金其抗拉及降伏強度的表現均優於含 7wt. % 鋁含量之合金，但其延伸性較差。

為更深入了解添加鉻與增加鋁含量對鐵鋁錳碳合金機械性質之影響，我們利用掃描式電子顯微鏡 (scanning electron microscope, SEM) 來分析合金經拉伸試驗後之破斷面及其破裂模式。圖 26 至圖 34 為合金在 1100°C 溫度下經 2 小時固溶熱處理 (solution heat-treatment, SHT) 並水淬後，經拉伸試驗之破斷面的掃描式電子顯微鏡照片。由圖 26 觀察可發現未添加鉻之 7Al 合金破裂表面嚴重扭曲，且破裂面上有微細之酒渦狀凹洞 (dimple pattern) 緻密分佈，此表示破裂前，裂縫前端已發生明顯塑性變形，此破裂現象為延性破裂之最典型特徵。

圖 27 至圖 30 為添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金之破斷面掃描式電子顯微鏡照片。由圖 27 觀察可知，隨著鉻含量之增加，破裂面上的酒渦狀凹洞，尺寸有粗大化之傾向，頸深較淺且分佈鬆散。這現象之原因可藉由表 7 所得之結果，顯示 7Al-3.0Cr 合金之機械強度在添加 3.0wt. % 鉻後已獲得提升，而強度增加將使微裂縫前端之差排在拉應力作用下不易滑移產生塑性變形，則裂縫前端將因應力

集中而使裂縫快速擴展導致破裂，進而使微細孔洞擴大，酒渦狀凹洞尺寸粗大化，頸深也因拉斷所需時間縮短而較淺。而由圖 27 可看出 7Al-3.0Cr 合金其破裂模式仍為延性破裂。

由圖 28 與表 7 中可明顯發現雖因鉻含量之增加，造成 7Al-5.0Cr 合金強度提升而使材料塑性變形不易，材料內部的裂縫 (crack) 在拉應力作用下快速擴展，產生少許的劈裂 (cleavage) 現象，進而使微細孔洞擴大，導致破斷時之酒渦狀凹洞尺寸較 7Al-3.0Cr 合金大，且數量變少、頸深更淺，但此時酒渦狀凹洞仍大量分佈在破裂表面，而使 7Al-5.0Cr 合金其破裂模式仍屬於穿晶之延性破裂。

由圖 29 中觀察發現，7Al-6.5Cr 合金之破裂表面酒渦狀凹洞尺寸不但較 7Al-3.0Cr 及 7Al-5.0Cr 合金大，表面出現了大量劈裂及流紋 (river pattern) 之脆性破裂特徵，此與表 7 中所示，合金機械強度隨鉻含量的提高而增加且延伸率逐漸變小之結果相符。由此可知當鉻含量由 5.0wt.% 增加至 6.5wt.% 時，將使其破裂模式由延性破壞轉變為兼具延性和脆性破壞。

由圖 30 中明顯觀察到，當在含 7wt.% 鋁合金中添加的鉻含量達 8.0wt.% 時 (如 7Al-8.0Cr 合金)，其破斷面在巨

觀下平坦而不扭曲，在拉應力作用下，裂縫前端因差排滑動受阻造成裂縫前端應力集中，而使裂縫沿樹枝狀晶臂間快速擴展導致破裂，因此造成 7Al-8.0Cr 合金延性急劇降低，再一次印證了表 7 中所得之結果，而此種破裂模式屬於脆性破壞。

同樣的，圖 31 至圖 34 為添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金之破斷面掃描式電子顯微鏡照片。由圖 31 至圖 34 觀察可知，含 9wt. % 鋁合金隨著鉻含量之增加，破裂面上的分佈特徵將由大量酒渦狀凹洞→劈裂及流紋→沿樹枝狀晶間破裂之轉變現象。這現象之原因可藉由表 8 所得之結果證實，顯示含 9wt. % 鋁合金的機械強度隨著鉻含量之增加而增加，而強度增加將使合金內部之微裂縫因應力集中而快速擴展導致破裂，延伸率亦因此大幅下降，隨鉻含量的增加至 6.5wt. % 或以上，破裂模式由延性破裂轉變為脆性破裂，此現象與含 7wt. % 鋁合金中所觀察類似。

將圖 27 至圖 30 與圖 31 至 34 這兩組圖作仔細比較，我們發現在含相同鉻含量時，當鋁含量由 7wt. % 增加至 9wt. % 時，含 9wt. % 鋁之合金其破裂面的特徵均呈現較差之延性，此結果與表 7 及表 8 相比較之結果相同。

由上述實驗之結果可知，不論在含 7wt.% 或 9wt.% 鋁含量之鐵鋁錳碳合金中，隨著鉻含量的增加，合金之機械強度將因此而提高，然而，合金機械強度的提高將導致其破裂機構由延性破裂轉變為脆性破裂，而使延伸率下降。值得注意的是，在含 7wt.% 鋁合金中添加鉻含量達 8.0wt.% 之 7Al-8.0Cr 合金或在含 9wt.% 鋁合金中添加鉻含量達 6.5wt.% 或以上之 9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金，其延伸率會急劇下降。此外，在相同含鉻量下，當鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，其延伸率亦會因鋁之增加而下降。



3.3 顯微結構 (microstructure)

圖 35 至圖 38 為含 7wt. % 鋁之鐵鋁錳碳合金在添加不同鉻含量後，掃描式電子顯微鏡 (SEM) 之顯微結構照片。由圖 35 至圖 38 中可明顯發現其基地皆為樹枝狀晶之顯微結構和樹枝狀枝臂間隙 (inter-dendrite) 交錯分佈。圖 39 (a) 為利用穿透式電子顯微鏡 (TEM) 觀察圖 35 中標示 A 之明視野 (bright-field, BF) 照片，為進一步鑑定含 7wt. % 鋁之鐵鋁錳碳合金基地之結構，圖 39 (b) 為取自圖 39 (a) 之擇區繞射圖型 (selected-area diffraction pattern, SADP)，從圖 39 (b) 之 SADP 結果可知，標示 A 之樹枝狀晶之顯微結構為沃斯田鐵相 (γ) 和具有 $L'1_2$ 結構之微細的 κ' 碳化物共存。圖 40 (a) 為利用穿透式電子顯微鏡觀察圖 35 中標示 B 之明視野照片。圖 40 (b) 為取自圖 40 (a) 之 SADP，從圖 40 (b) 之 SADP 可知，標示 B 之樹枝狀枝臂間隙為肥粒鐵相 (α)。面心立方結構 (face-centered cubic, FCC) 之沃斯田鐵相的延性較體心立方結構 (body center cubic, BCC) 的肥粒鐵相佳。因此，由圖 35 中沃斯田鐵相與肥粒鐵相之比例 ($\gamma : \alpha$) 約為 8 : 2，可證實先前 7Al-3.0Cr 合金在拉伸測試下，因含高比例之沃斯田鐵相，呈現出良好之延

伸率。然而，由圖 35 至圖 38 結果顯示樹枝狀晶之顯微結構之初晶沃斯田鐵相體積比例隨著鉻含量逐漸增加而降低，反觀樹枝狀枝臂間隙的肥粒鐵相卻因此而增加，造成沃斯田鐵相與肥粒鐵相之比值 (γ/α) 隨著鉻含量之增加而下降，這現象清楚說明了在拉伸試驗下當增加鉻含量時，含 7wt.% 鋁之鐵鋁錳碳合金其機械強度將增強，而延伸率減少之原因。值得注意的是，由圖 38 中發現，當鉻含量增加到 8.0wt.% 時，其樹枝狀枝臂間隙的肥粒鐵相內有許多獨立而不連續的顆粒分佈，圖 41 (a) 為由圖 38 中之標示 C 其明視野照片，圖 41 (b) 則為由圖 41 (a) 中標示 D 之 SADP，由分析繞射圖型結果發現，樹枝狀枝臂間隙為肥粒鐵相和富鉻的 $(\text{Fe, Mn, Cr})_7\text{C}_3$ 碳化鉻共存，而此在樹枝狀枝臂間隙的肥粒鐵相內析出之富含鉻的 $(\text{Fe, Mn, Cr})_7\text{C}_3$ 碳化物不但硬而且脆，且在外加拉應力作用下，將阻止差排滑移之塑性變形，雖使 7Al-8.0Cr 合金機械強度提高，但將導致延伸率急劇下降。此外，當富含鉻的 $(\text{Fe, Mn, Cr})_7\text{C}_3$ 之碳化鉻形成，將導致其周圍形成一缺鉻區，而抑制了氧化鉻 (Cr_2O_3) 之氧化保護膜的生成，致使 7Al-8.0Cr 合金在高鉻含量下反而較易受腐蝕，此現象印證了我們先前利用電化學腐蝕測試動態極化曲

線及鹽霧試驗時，含 7wt.% 鋁之 7Al-8.0Cr 合金，其抗蝕能力隨鉻含量增加至 8.0wt.% 以上反而急遽下降之結果。

圖 42 至圖 45 為含 9wt.% 鋁之鐵鋁錳碳合金在添加不同鉻含量後，掃描式電子顯微鏡的顯微結構照片。由圖 42 至圖 45 中可明顯發現其基地仍為樹枝狀顯微結構之沃斯田鐵相和樹枝狀枝臂間隙之肥粒鐵相交錯分佈，且顯示出樹枝狀之顯微結構之初晶沃斯田鐵相體積比例隨著鉻含量由 3.0wt.% 增加至 5.0wt.% 而下降，反觀樹枝狀枝臂間隙的肥粒鐵相卻因此而增加，沃斯田鐵相與肥粒鐵相之比值 (γ/α) 亦隨鉻含量之增加而下降，此現象與含 7wt.% 鋁之鐵鋁錳碳合金，在拉伸試驗下當增加鉻含量時，其機械強度將增強，延伸率減少之原因相似。

圖 46 (a) 為由圖 44 中所標示的區域 E 之明視野照片，為進一步鑑定其相結構，圖 46 (b) 與圖 46 (c) 為取自圖 46(a) 中所標示 F 及 G 之 SADPs，由繞射圖型分析結果可知，標示 F 為規律超結晶格子之 DO_3 結構，標示 G 則為富含鉻的 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 碳化鉻結構，圖 45 即為規律超結晶格子之 DO_3 結構和富含鉻的 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 碳化鉻結構共存。由此可知當鐵鋁錳碳系合金鋁含量由 7.0wt.% 增加至 9.0wt.%，且

鉻含量由 5.0wt.% 增加至 6.5wt.% 以上時，原樹枝狀枝臂間隙的肥粒鐵相將轉變為具規律超結晶格子之 DO_3 結構，而在 DO_3 結構內析出之富含鉻的 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 碳化鉻質地硬而脆，將在合金內部阻止差排滑移，所以，欲使合金發生塑性變形須極大之外加拉應力，雖使 9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金機械強度提高，但終將致使延伸率急劇下降。

同樣的，隨 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 之碳化鉻形成，將因碳化鉻的增加，導致其周圍形成一缺鉻區，而抑制了氧化鉻 (Cr_2O_3) 之氧化保護膜的生成，致使 9Al-6.5Cr 及 9Al-8.0Cr 合金在高鉻含量下反而更易受腐蝕，發生孔蝕的現象，此現象亦印證了我們先前利用電化學腐蝕測試動態極化曲線及鹽霧試驗時，含 9wt.% 鋁之 9Al-6.5Cr 和 9Al-8.0Cr 合金，其抗蝕能力隨鉻含量增加至 6.5wt.% 或以上反而急遽下降之結果。

表 1 合金化學組成表

| Alloy | Mn | Al | Cr | C | Fe |
|-----------|-------|------|------|------|------|
| 7Al | 29.98 | 7.01 | 0 | 1.51 | Bal. |
| 7Al-3.0Cr | 29.92 | 7.02 | 3.01 | 1.51 | Bal. |
| 7Al-5.0Cr | 29.85 | 7.09 | 5.03 | 1.49 | Bal. |
| 7Al-6.5Cr | 30.02 | 7.06 | 6.54 | 1.50 | Bal. |
| 7Al-8.0Cr | 30.11 | 7.08 | 7.96 | 1.52 | Bal. |
| 9Al-3.0Cr | 29.95 | 9.08 | 3.03 | 1.50 | Bal. |
| 9Al-5.0Cr | 29.76 | 9.05 | 4.99 | 1.48 | Bal. |
| 9Al-6.5Cr | 30.23 | 9.02 | 6.52 | 1.50 | Bal. |
| 9Al-8.0Cr | 29.77 | 8.97 | 8.02 | 1.49 | Bal. |

表 2 合金經電化學腐蝕測試動態極化曲線參數表

| Alloy | Electronchemical Parameter from Polarization Curves | | | | |
|-----------|---|----------------------|----------------------|-------------------------------------|---------|
| | E _{corr} (mV) | E _{cr} (mV) | E _{pp} (mV) | I _p (A/cm ²) | ΔE (mV) |
| 7Al | -876.84 | -- | -- | -- | -- |
| 7Al-3.0Cr | -740.96 | -602.42 | -348.07 | 4.1E-05 | 254.35 |
| 7Al-5.0Cr | -649.79 | -580.35 | -246.13 | 1.01E-05 | 334.22 |
| 7Al-6.5Cr | -610.95 | -552.58 | -209.57 | 5.75E-06 | 343.01 |
| 7Al-8.0Cr | -674 | -549.1 | -391.6 | 1.78E-05 | 157.5 |
| 9Al-3.0Cr | -703.05 | -550 | -220.08 | 2.77E-05 | 329.92 |
| 9Al-5.0Cr | -560.1 | -520 | -53.02 | 9.96E-06 | 466.98 |
| 9Al-6.5Cr | -601 | -534.22 | -307.77 | 1.99E-05 | 226.45 |
| 9Al-8.0Cr | -721.1 | -564 | -380 | 1.68E-05 | 184 |

E_{corr} : 腐蝕電位 (corrosion potential)

E_{cr} : 臨界電位 (critical potential)

E_{pp} : 孔蝕電位 (pitting potential)

I_p : 孔蝕電流密度 (pitting current density)

ΔE : 鈍化區電位差

表 3 合金經鹽霧試驗後之表面腐蝕生鏽面積比率（紅鏽）

| 合金 | 紅鏽比率 | 合金 | 紅鏽比率 |
|-----------|------|-----------|------|
| 7Al | 85 | | |
| 7Al-3.0Cr | 10 | 9Al-3.0Cr | 7 |
| 7Al-5.0Cr | 5 | 9Al-5.0Cr | 0 |
| 7Al-6.5Cr | 0 | 9Al-6.5Cr | 15 |
| 7Al-8.0Cr | 27 | 9Al-8.0Cr | 22 |

表4 為經XPS分析後之不同元素價電子其個別所屬之波峰的束縛能 (Binding Energy, Eb)

| Alloy | Fe | | | Mn | | | Al | | | Cr | | | O | | |
|-----------|-----------|-------------------|---------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|-------|------------------|
| | Intensity | 2p _{3/2} | VS | Intensity | 2p _{3/2} | VS | Intensity | 2p _{3/2} | VS | Intensity | 2p _{3/2} | VS | Intensity | 1s | VS |
| 7Al | 13512 | 710.8 | Fe ³⁺ -OX | 10664 | 640.4 | Mn ²⁺ -OX | 1709.8 | 73.6 | Al ³⁺ -OX | - | - | - | 4688 | 530.1 | M-ox |
| | 13496 | 712.9 | Fe ²⁺ -sulfide | 9719.4 | 641.6 | Mn ³⁺ -OX | 467 | 74.3 | Al ³⁺ -OX | - | - | - | 10222 | 531.4 | Al-ox |
| | 8030.7 | 718.1 | Fe ³⁺ -OX | 4623.9 | 645.8 | Mn ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | 6504 | 532.5 | H ₂ O |
| 7Al-3.0Cr | 12252 | 709.4 | Fe ²⁺ -OX | 15520 | 640.9 | Mn ³⁺ -OX | 1778.6 | 73.6 | Al ³⁺ -OX | 2490.5 | 577 | Cr ³⁺ -OX | 7291 | 529.8 | M-ox |
| | 12448 | 711.1 | Fe ²⁺ -OX | 4606 | 645.8 | Mn ²⁺ -OX | 504 | 75.3 | Al ³⁺ -OX | 474.9 | 586 | Cr ³⁺ -OX | 16391 | 530.9 | Al-ox |
| | 8870 | 715.7 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1907.5 | 532.1 | H ₂ O |
| 7Al-5.0Cr | 11880 | 709.3 | Fe ²⁺ -OX | 173230.8 | 641.4 | Mn ³⁺ -OX | 1786.5 | 74.3 | Al ³⁺ -OX | 2550 | 577.8 | Cr ³⁺ -OX | 7658.9 | 530.4 | M-ox |
| | 11456.2 | 711 | Fe ²⁺ -OX | 166490 | 645.7 | Mn ²⁺ -OX | 521 | 75.8 | Al ³⁺ -OX | 1474 | 588.5 | Cr ³⁺ -OX | 18745 | 531.4 | Al-ox |
| | 10202 | 715.5 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9554 | 532.5 | H ₂ O |
| 7Al-6.5Cr | 10025 | 710.2 | Fe ²⁺ -OX | 16650 | 641.5 | Mn ³⁺ -OX | 1702.5 | 73.2 | Al ³⁺ -OX | 3880 | 582 | Cr ³⁺ -OX | 7889 | 530.2 | M-ox |
| | 9373 | 711.1 | Fe ²⁺ -OX | 15548.2 | 644.8 | Mn ²⁺ -OX | 495 | 75.2 | Al ³⁺ -OX | 2112.3 | 590 | Cr ³⁺ -OX | 18995 | 531.5 | Al-ox |
| | 8721 | 716.6 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9826.5 | 532.6 | H ₂ O |
| 7Al-8.0Cr | 9022 | 711.1 | Fe ²⁺ -OX | 17754.2 | 641.8 | Mn ³⁺ -OX | 1715.3 | 74.6 | Al ³⁺ -OX | 5993 | 580 | Cr ³⁺ -OX | 8002 | 530.9 | M-ox |
| | 8370 | 712.2 | Fe ²⁺ -OX | 15668.2 | 645.8 | Mn ²⁺ -OX | 488 | 75.9 | Al ³⁺ -OX | 2885.6 | 592 | Cr ³⁺ -OX | 19925.7 | 531.4 | Al-ox |
| | 7718 | 717.5 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 8119 | 532.2 | H ₂ O |
| 9Al-3.0Cr | 11250 | 709.8 | Fe ²⁺ -OX | 18524 | 640.2 | Mn ³⁺ -OX | 20873 | 92.5 | Al ³⁺ -OX | 2338.1 | 577 | Cr ³⁺ -OX | 9285.2 | 530.8 | M-ox |
| | 10560 | 710.8 | Fe ²⁺ -OX | 16629.2 | 644.5 | Mn ²⁺ -OX | 20698 | 95.8 | Al ³⁺ -OX | 555 | 585 | Cr ³⁺ -OX | 18895 | 531.8 | Al-ox |
| | 9954.3 | 716.4 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 20025 | 532.6 | H ₂ O |
| 9Al-5.0Cr | 10752.6 | 710.5 | Fe ²⁺ -OX | 16250 | 641.5 | Mn ³⁺ -OX | 20996 | 93.6 | Al ³⁺ -OX | 2541 | 577.9 | Cr ³⁺ -OX | 9685 | 530.2 | M-ox |
| | 99854.3 | 712.9 | Fe ²⁺ -OX | 15481.1 | 645.6 | Mn ²⁺ -OX | 20568 | 95.6 | Al ³⁺ -OX | 1423 | 589 | Cr ³⁺ -OX | 19852 | 531.2 | Al-ox |
| | 8562 | 717.5 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21105.6 | 532.7 | H ₂ O |
| 9Al-6.5Cr | 9954.1 | 710.2 | Fe ²⁺ -OX | 17743.2 | 641.7 | Mn ³⁺ -OX | 20886 | 93.7 | Al ³⁺ -OX | 3749.2 | 583 | Cr ³⁺ -OX | 9958.5 | 530.1 | M-ox |
| | 8562.5 | 713.1 | Fe ²⁺ -OX | 16683.2 | 644.8 | Mn ²⁺ -OX | 20563.1 | 95.4 | Al ³⁺ -OX | 2009 | 590 | Cr ³⁺ -OX | 20052 | 531.4 | Al-ox |
| | 7994 | 718.4 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 22354 | 532.6 | H ₂ O |
| 9Al-8.0Cr | 8882 | 710.3 | Fe ²⁺ -OX | 15502 | 640.8 | Mn ³⁺ -OX | 20953 | 92.8 | Al ³⁺ -OX | 5865.4 | 581 | Cr ³⁺ -OX | 10056.4 | 529.8 | M-ox |
| | 8017 | 712.5 | Fe ²⁺ -OX | 14421.6 | 645 | Mn ²⁺ -OX | 20425.8 | 95.6 | Al ³⁺ -OX | 2719.5 | 590 | Cr ³⁺ -OX | 21032.7 | 530.2 | Al-ox |
| | 7720.5 | 718.6 | Fe ³⁺ -OX | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 23391 | 532.4 | H ₂ O |

表 5 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金經 XPS 分析後之

鈍化層元素原子百分比表

| Alloys | Time(min) | Fe | Mn | Al | Cr | C | O |
|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 7Al | 0 | 3.1 | 2.2 | 4.6 | -- | 41.6 | 28.1 |
| | 1 | 29.8 | 12.1 | 10.2 | -- | 4.7 | 33.6 |
| | 2 | 45.5 | 16 | 8.9 | -- | 1.7 | 15.3 |
| | 3 | 52.2 | 20.3 | 7 | -- | 1.4 | 11 |
| | 4 | 55.7 | 23.9 | 6.8 | -- | 1.5 | 8.9 |
| | 5 | 57.4 | 25 | 6.9 | -- | 1.4 | 6.6 |
| | 6 | 58.6 | 27.8 | 6.7 | -- | 1.5 | 5.2 |
| 7Al-3.0Cr | 0 | 2.8 | 3.3 | 7 | 3.2 | 51 | 48 |
| | 1 | 29.8 | 9.3 | 11.5 | 3.9 | 20 | 55.6 |
| | 2 | 38.1 | 13.4 | 8.9 | 2.6 | 1.6 | 50.8 |
| | 3 | 44.6 | 19.5 | 6 | 2.5 | 1.5 | 46.2 |
| | 4 | 50.2 | 20.5 | 5.8 | 2.2 | 1.4 | 39.5 |
| | 5 | 52.1 | 22.3 | 6.2 | 2.2 | 1.6 | 32 |
| | 6 | 58.5 | 22.9 | 6.7 | 2.3 | 1.5 | 20 |
| 7Al-5.0Cr | 0 | 3.7 | 3.5 | 7.5 | 4.2 | 53 | 52 |
| | 1 | 20.5 | 8.8 | 8.5 | 6.5 | 25 | 57.6 |
| | 2 | 32.2 | 14.5 | 5.8 | 3.6 | 1.1 | 52.8 |
| | 3 | 40.5 | 18.6 | 5.2 | 3.5 | 1.8 | 48.6 |
| | 4 | 44.2 | 20 | 5.8 | 3.7 | 1.4 | 35 |
| | 5 | 46.1 | 22 | 6.2 | 3.2 | 1.6 | 31 |
| | 6 | 54.5 | 25 | 6.3 | 3.1 | 1.5 | 25 |
| 7Al-6.5Cr | 0 | 4.6 | 2.5 | 7.9 | 5.2 | 54 | 55 |
| | 1 | 18.7 | 8.1 | 8.9 | 7.9 | 26 | 60 |
| | 2 | 29.2 | 13.2 | 5.6 | 4.6 | 1.21 | 53.9 |
| | 3 | 38.5 | 17.7 | 5.6 | 4.5 | 1.9 | 49.7 |
| | 4 | 42.1 | 20 | 5.8 | 4.3 | 1.3 | 38 |
| | 5 | 43.1 | 23 | 6.4 | 3.9 | 1.5 | 34 |
| | 6 | 52.4 | 26.5 | 6.3 | 3.3 | 1.45 | 21 |
| 7Al-8.0Cr | 0 | 5.6 | 3.1 | 6.6 | 8.5 | 56 | 56 |
| | 1 | 19.7 | 10.2 | 7.9 | 10.5 | 15 | 63 |
| | 2 | 30.2 | 13.4 | 7.7 | 7.7 | 1.8 | 50 |
| | 3 | 40.5 | 21 | 7.1 | 7.1 | 1.7 | 44 |
| | 4 | 43.1 | 22 | 5.2 | 6.6 | 1.6 | 31 |
| | 5 | 44.2 | 23 | 5.1 | 6.2 | 1.5 | 24 |
| | 6 | 53 | 25 | 6 | 6.5 | 1.52 | 20 |

表 6 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金經 XPS 分析後之

鈍化層元素原子百分比表

| Alloys | Time(min) | Fe | Mn | Al | Cr | C | O |
|-----------|-----------|------|------|------|-----|------|----|
| 9Al-3.0Cr | 0 | 5.1 | 3.3 | 8.8 | 4 | 43 | 47 |
| | 1 | 17.6 | 7.4 | 10.2 | 5.6 | 13 | 50 |
| | 2 | 28.4 | 10.2 | 6.6 | 3.1 | 5 | 39 |
| | 3 | 33.5 | 14.2 | 6.4 | 2.2 | 1.4 | 28 |
| | 4 | 41 | 18 | 5.8 | 1.9 | 1.3 | 27 |
| | 5 | 52 | 21 | 6.9 | 2.6 | 1.5 | 22 |
| | 6 | 55 | 24 | 7.7 | 2.8 | 1.45 | 11 |
| 9Al-5.0Cr | 0 | 3.6 | 3.9 | 8.1 | 6 | 47 | 52 |
| | 1 | 15.2 | 8.6 | 9.5 | 7 | 22 | 55 |
| | 2 | 33.4 | 11 | 5.4 | 4.4 | 8 | 40 |
| | 3 | 35.6 | 15.3 | 5.6 | 2.5 | 1.9 | 33 |
| | 4 | 43 | 19 | 5.8 | 1.9 | 1.3 | 30 |
| | 5 | 50 | 20 | 7.5 | 3.2 | 1.5 | 25 |
| | 6 | 53 | 25 | 8.1 | 4.5 | 1.1 | 12 |
| 9Al-6.5Cr | 0 | 4.1 | 3.8 | 8 | 7 | 49 | 55 |
| | 1 | 17.2 | 10 | 9.2 | 8.1 | 15 | 60 |
| | 2 | 31.7 | 15 | 5 | 5.2 | 10 | 47 |
| | 3 | 33.4 | 18 | 5.2 | 3.5 | 2 | 39 |
| | 4 | 40.1 | 20 | 6 | 2.9 | 1.4 | 32 |
| | 5 | 48.5 | 22 | 7.2 | 4.9 | 1.5 | 28 |
| | 6 | 52.5 | 26 | 8.3 | 6.2 | 1.5 | 13 |
| 9Al-8.0Cr | 0 | 3.4 | 5.5 | 7.7 | 8 | 51 | 58 |
| | 1 | 14.4 | 14 | 9.1 | 9.5 | 20 | 69 |
| | 2 | 25.5 | 17 | 5.3 | 6.6 | 11 | 60 |
| | 3 | 30.8 | 20 | 5.2 | 4.8 | 2.1 | 49 |
| | 4 | 40.1 | 22 | 6 | 3.9 | 1.8 | 42 |
| | 5 | 47.6 | 25 | 7.4 | 5.7 | 1.5 | 38 |
| | 6 | 51 | 27 | 8.4 | 7.2 | 1.4 | 18 |

表 7 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金經拉伸測
試後其機械性質數據表

| Alloys | U.T.S(ksi) | Y.S(ksi) | EL(%) |
|-----------|------------|----------|-------|
| 7Al | 102.1 | 90.2 | 45.3 |
| 7Al-3.0Cr | 107.8 | 91.5 | 35.6 |
| 7Al-5.0Cr | 109.7 | 98.7 | 30.1 |
| 7Al-6.5Cr | 115.5 | 99.5 | 25 |
| 7Al-8.0Cr | 119 | 100.5 | 13.2 |

表 8 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金經拉伸測
試後其機械性質數據表

| Alloys | U.T.S(ksi) | Y.S(ksi) | EL(%) |
|-----------|------------|----------|-------|
| 9Al-3.0Cr | 113.5 | 96.7 | 35.8 |
| 9Al-5.0Cr | 118.6 | 100.6 | 30.1 |
| 9Al-6.5Cr | 125.7 | 109.8 | 12.5 |
| 9Al-8.0Cr | 128.8 | 107.6 | 7.2 |

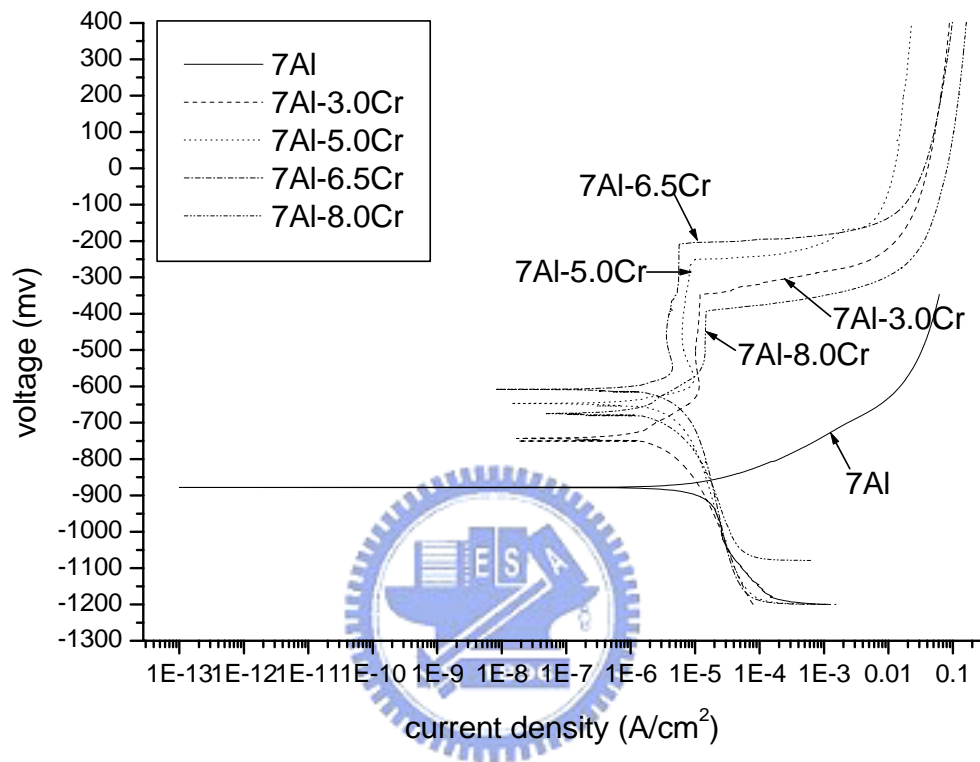


圖 1 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

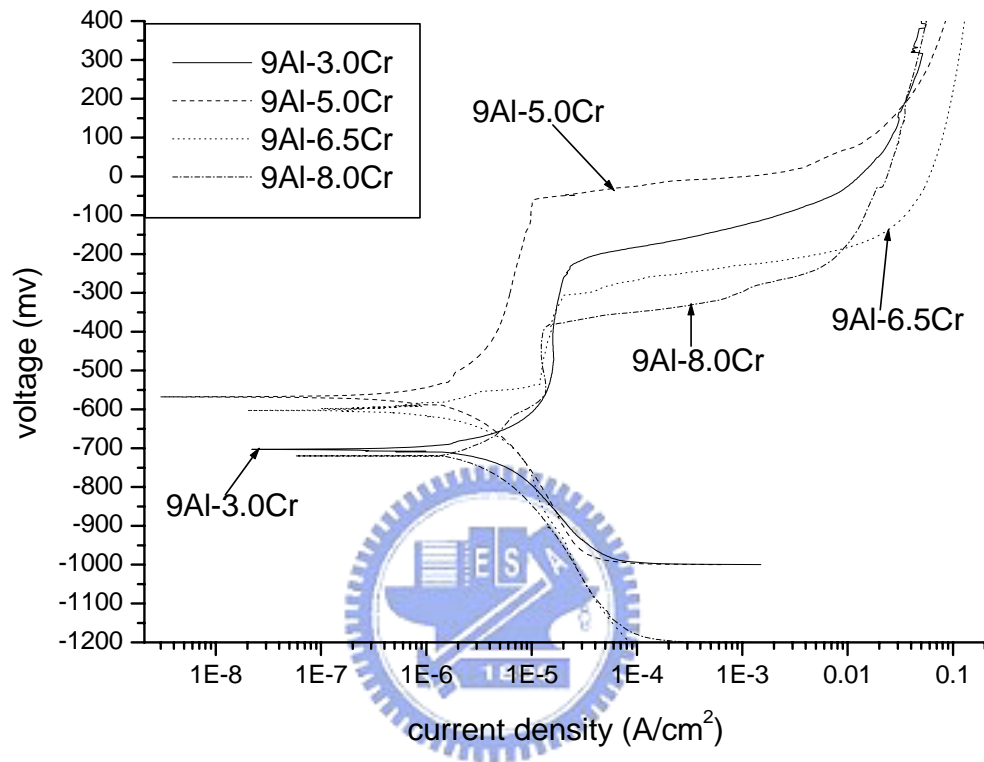


圖 2 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

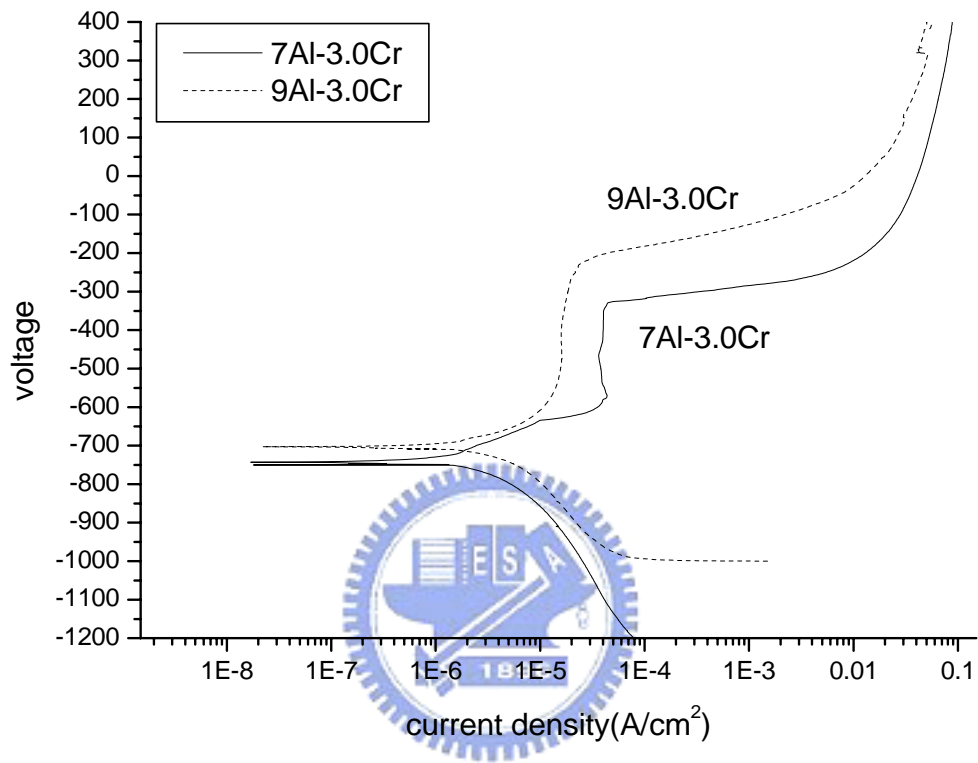


圖 3 7Al-3.0Cr 及 9Al-3.0Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

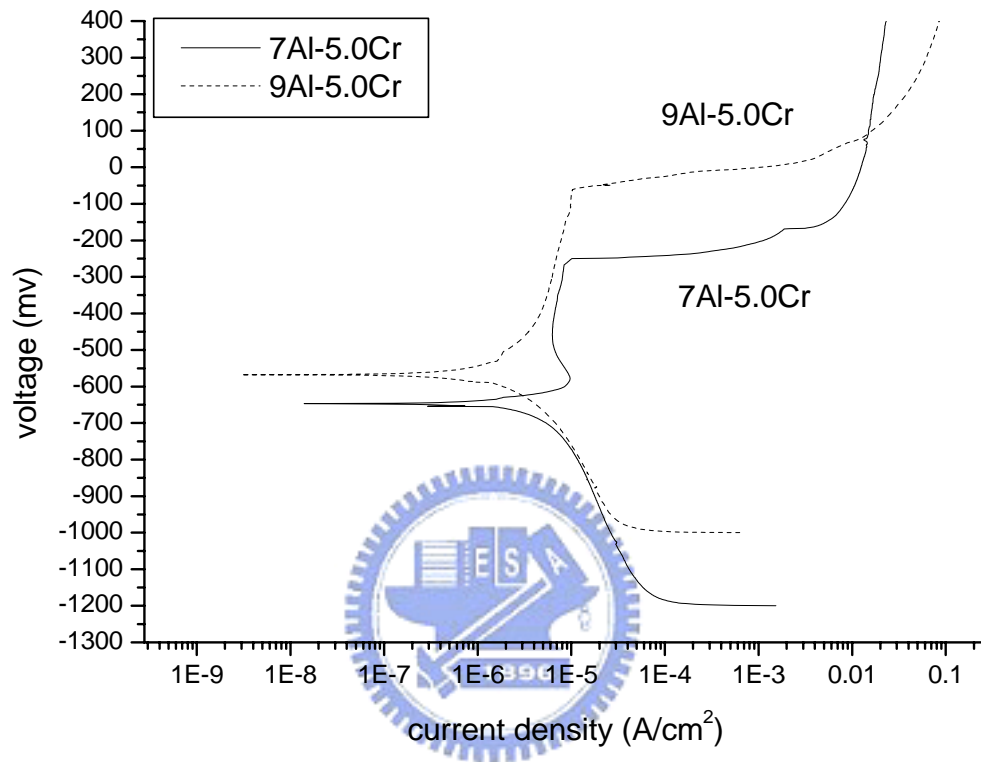


圖 4 7Al-5.0Cr 及 9Al-5.0Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

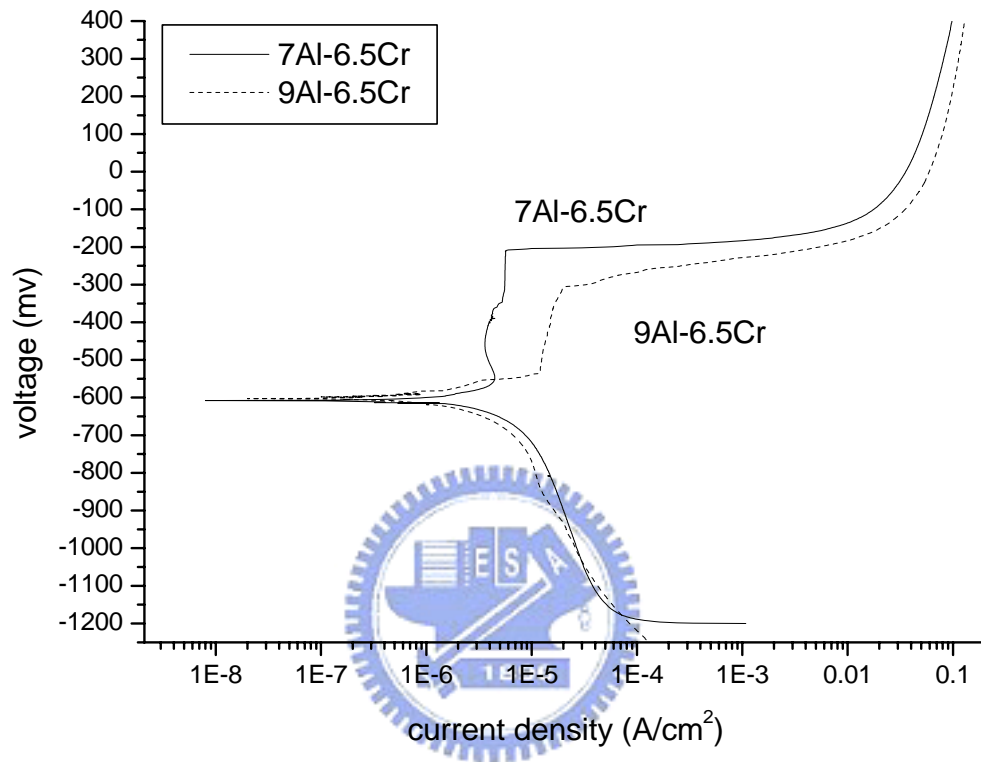


圖 5 7Al-6.5Cr 及 9Al-6.5Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖

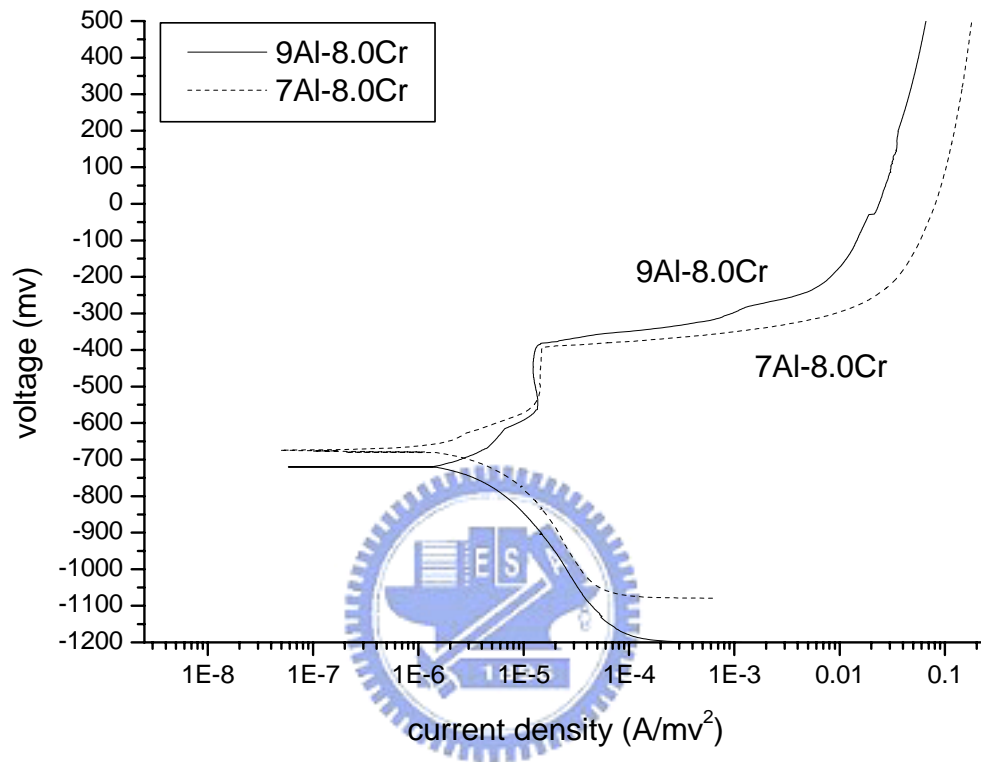


圖 6 7Al-8.0Cr 及 9Al-8.0Cr 合金在 25°C 下進行 5% 氯化鈉溶液的電化學腐蝕測試動態極化曲線圖



鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金 (7A1)

圖 7 7A1 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時測試圖



鐵-30 錳-7 鋁-3 鉻-1.5 碳合金 (7Al-3.0Cr)

圖 8 7Al-3.0Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖



鐵-30 錳-7 鋁-5 鉻-1.5 碳合金 (7Al-5.0Cr)

圖 9 7Al-5.0Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖



鐵-30 錳-7 鋁-6.5 鉻-1.5 碳合金 (7Al-6.5Cr)

圖 10 7Al-6.5Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖



鐵-30 錳-7 鋁-8 鉻-1.5 碳合金 (7Al-8.0Cr)

圖 11 7Al-8.0Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖



鐵-30 錳-9 鋁-3 鉻-1.5 碳合金 (9Al-3.0Cr)

圖 12 9Al-3.0Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時

測試圖



鐵-30 錳-9 鋁-5 鉻-1.5 碳合金 (9Al-5.0Cr)

圖 13 9Al-5.0Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時

測試圖



鐵-30 錳-9 鋁-6.5 鉻-1.5 碳合金 (9Al-6.5Cr)

圖 14 9Al-6.5Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖



鐵-30 錳-9 鋁-8 鉻-1.5 碳合金 (9Al-8.0Cr)

圖 15 9Al-8.0Cr 合金進行 5% 氯化鈉溶液鹽霧試驗 24 小時
測試圖

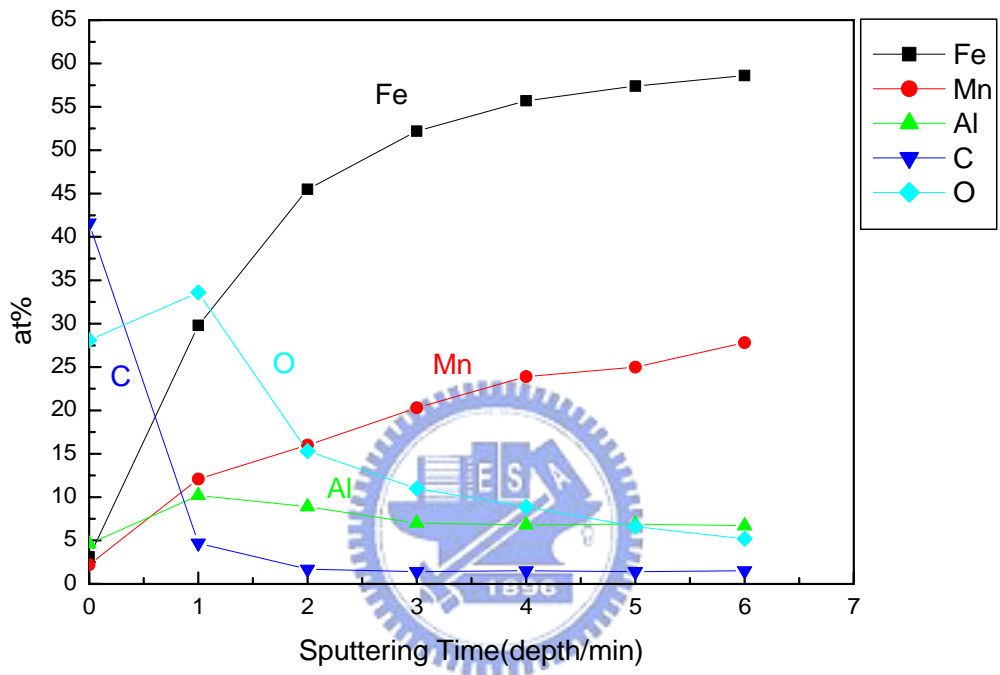


圖 16 7Al 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

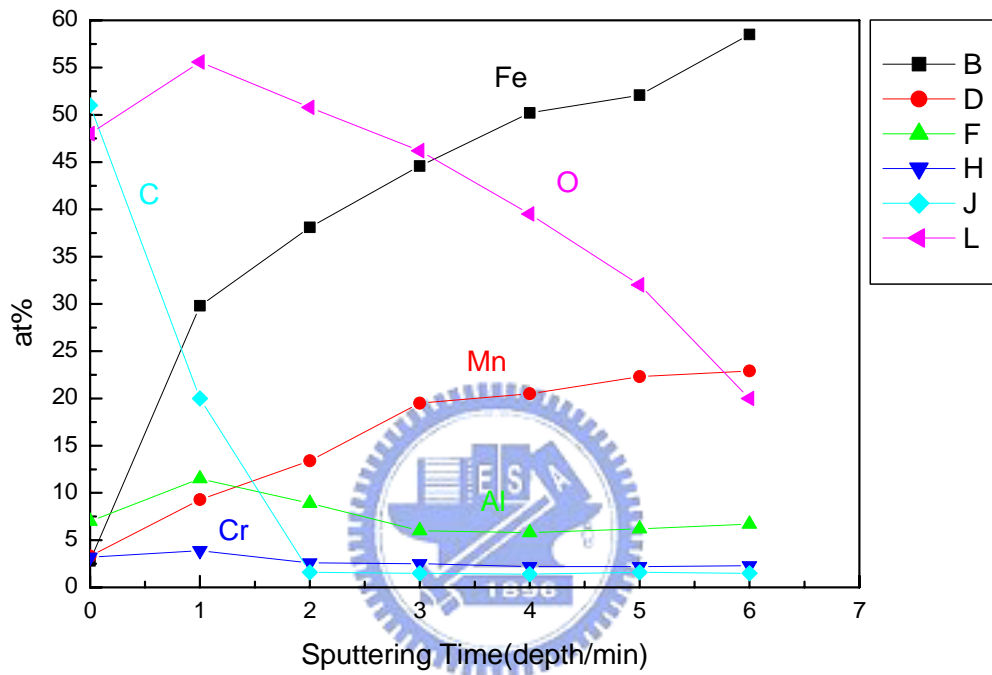


圖 17 7Al-3.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

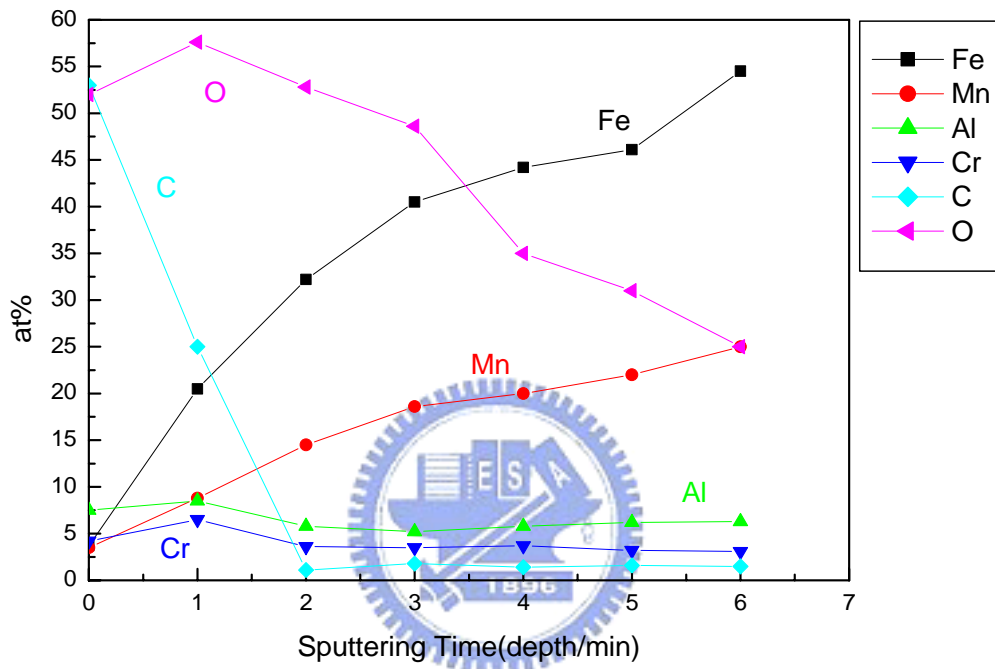


圖 18 7Al-5.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

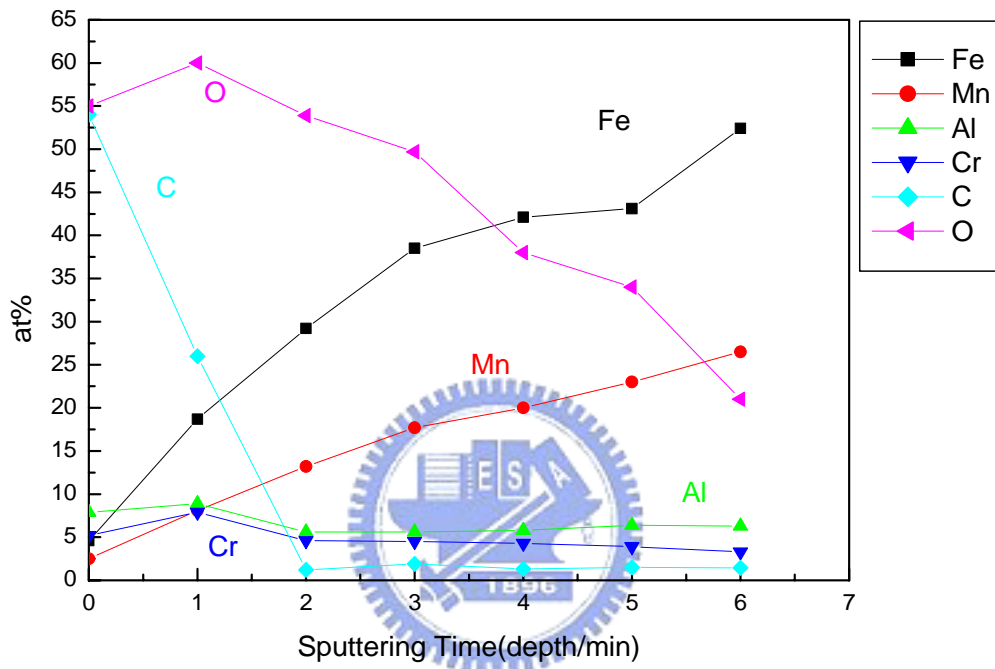


圖 19 7Al-6.5Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

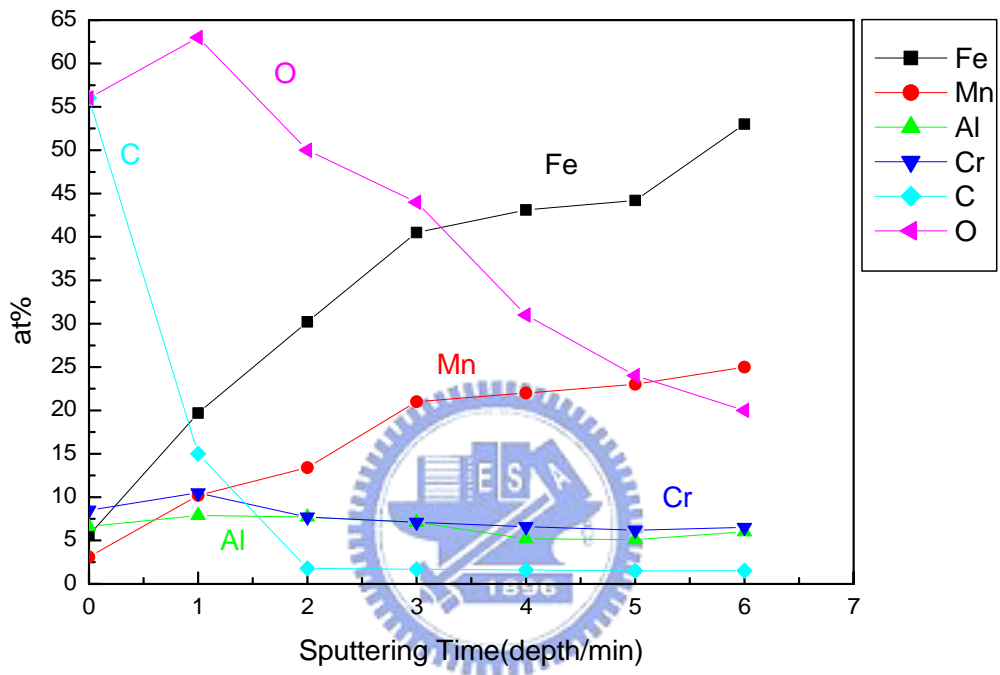


圖 20 7Al-8.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

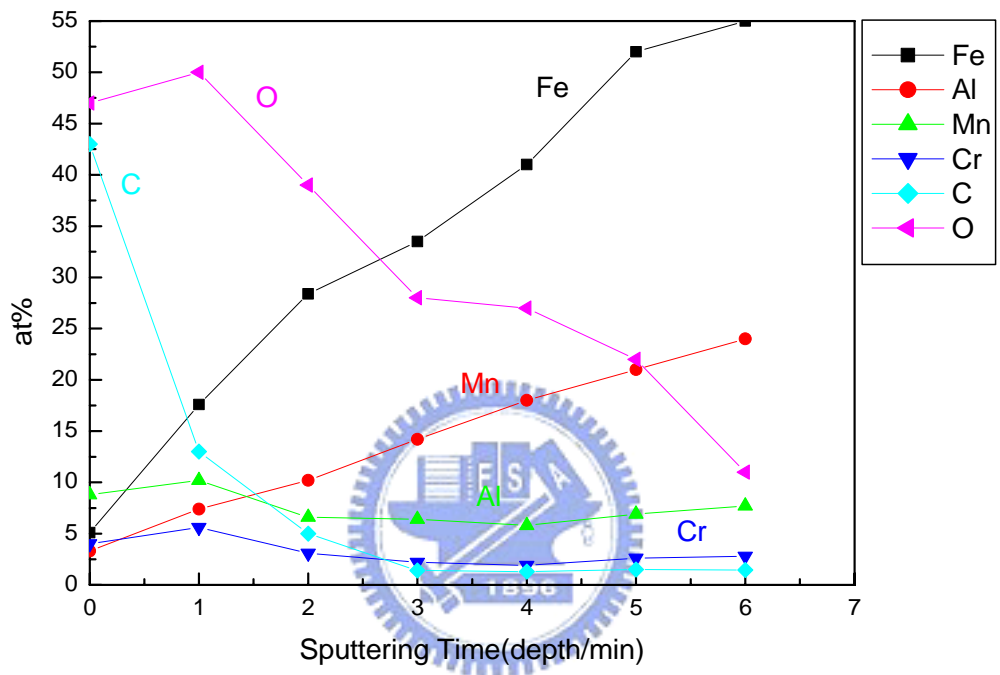


圖 21 9Al-3.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

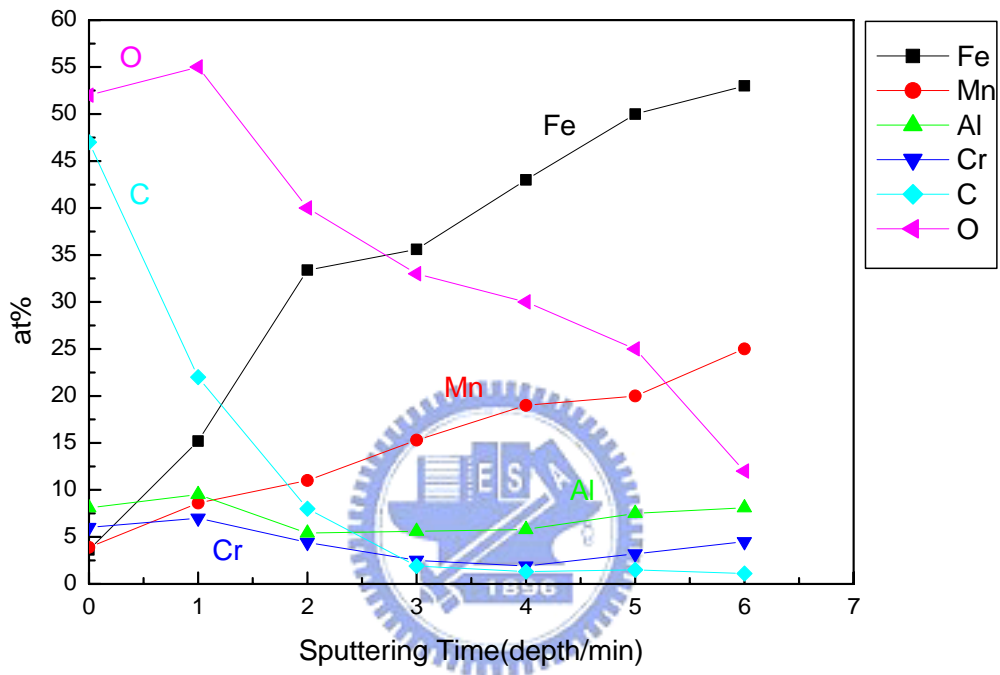


圖 22 9Al-5.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

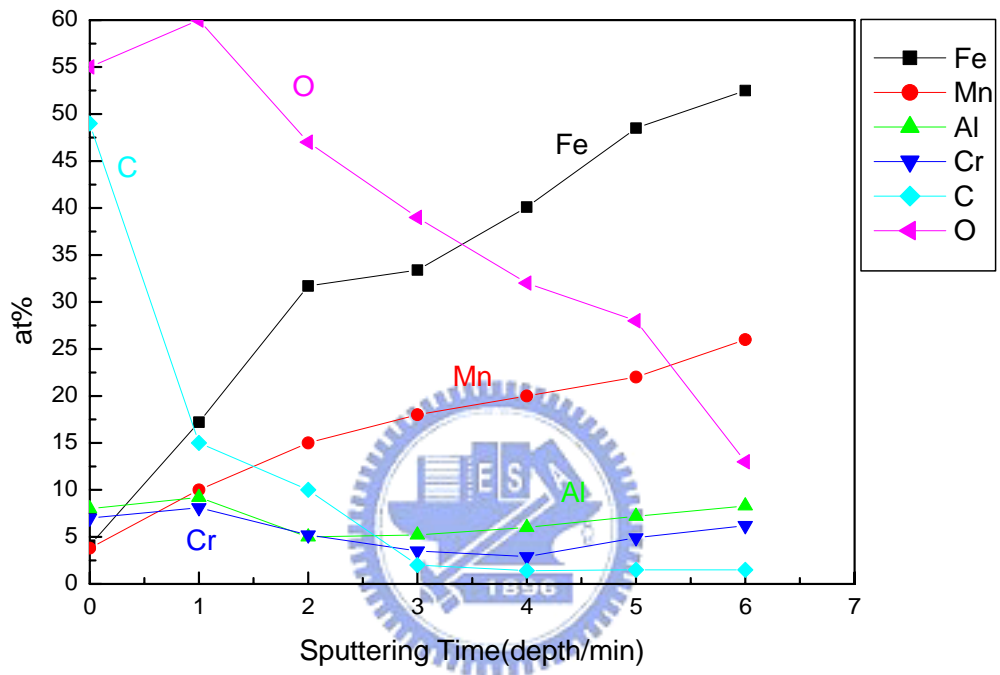


圖 23 9Al-6.5Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

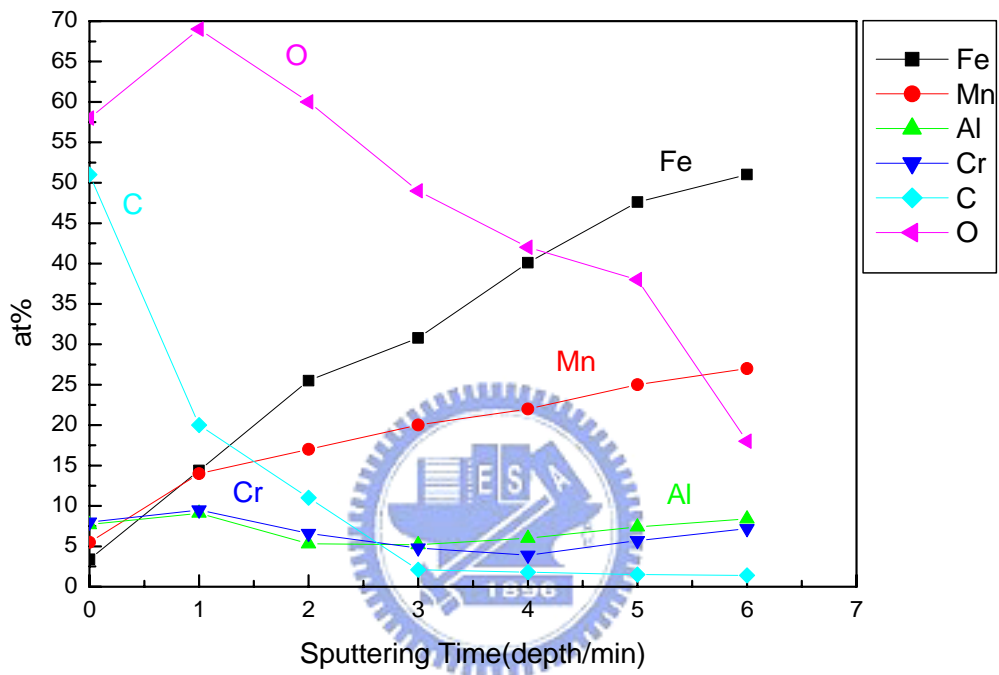


圖 24 9Al-8.0Cr 合金表面鈍化層之元素原子百分比數據對縱深 (sputtering time) 圖

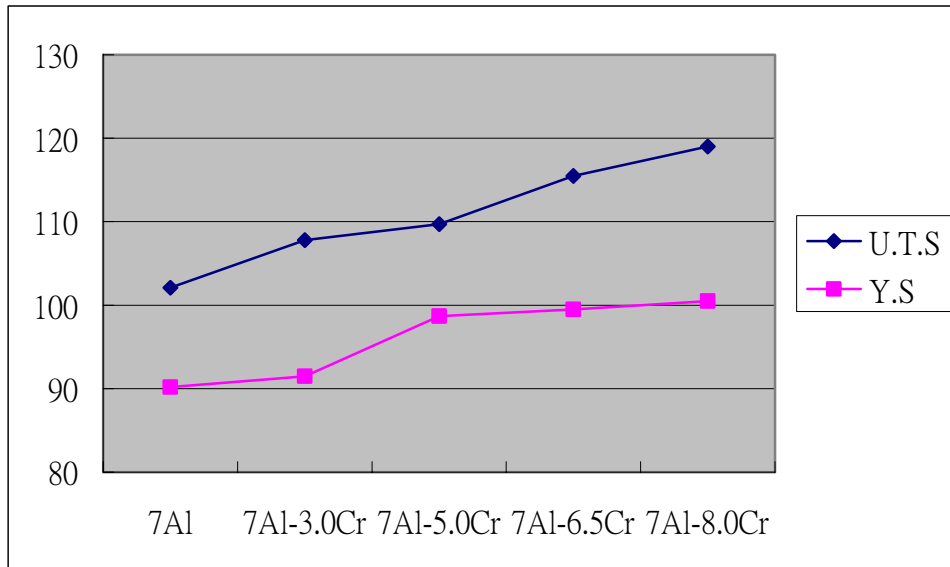


圖 25 (a) 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳
合金拉伸試驗後機械強度之曲線圖

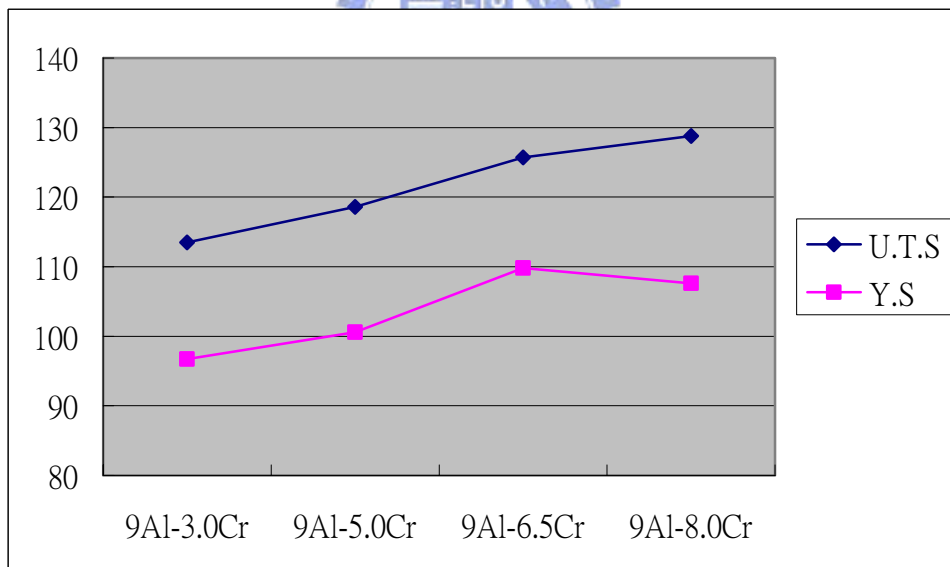


圖 25 (b) 添加不同鉻含量之鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳
合金拉伸試驗後機械強度之曲線圖

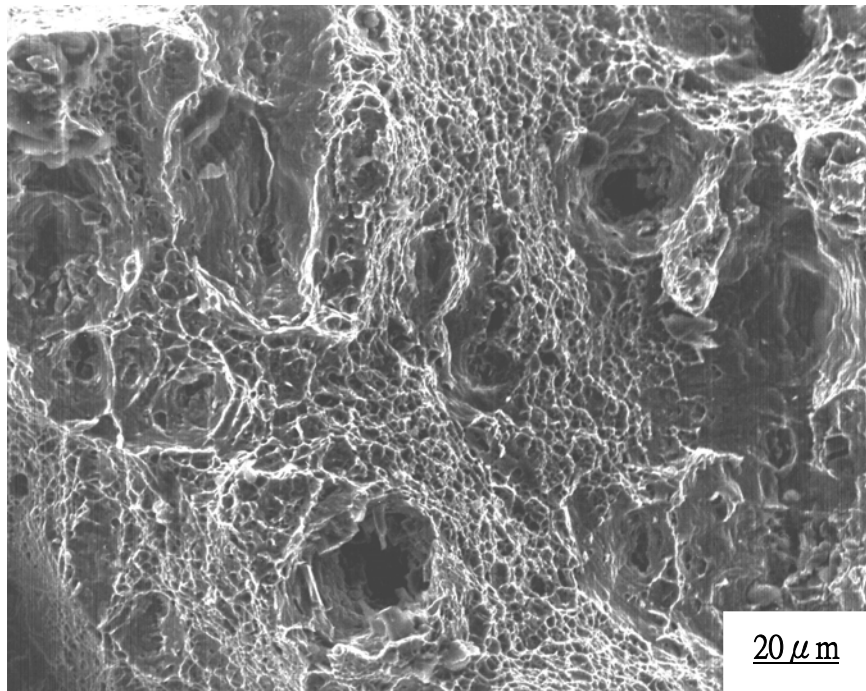


圖 26 7A1 合金經拉伸試驗後破斷面之掃描式電子顯微鏡 (SEM) 照片

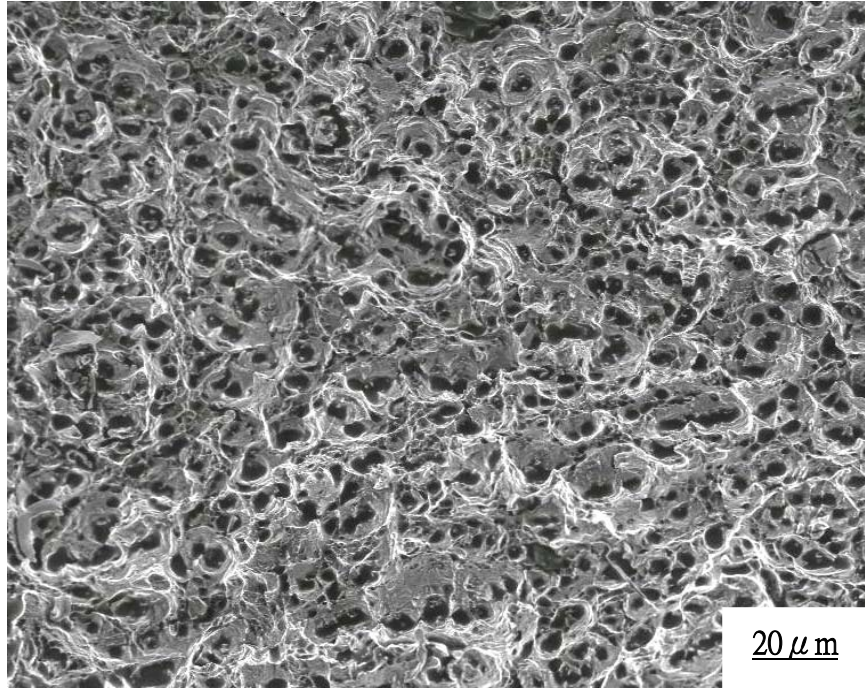


圖 27 7Al-3.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

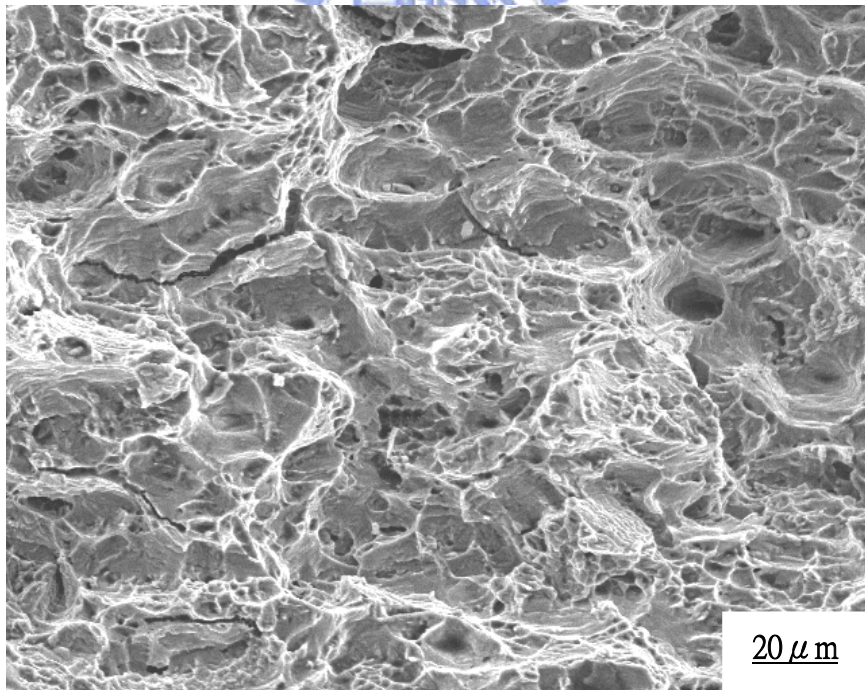


圖 28 7Al-5.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片



圖 29 7Al-6.5Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

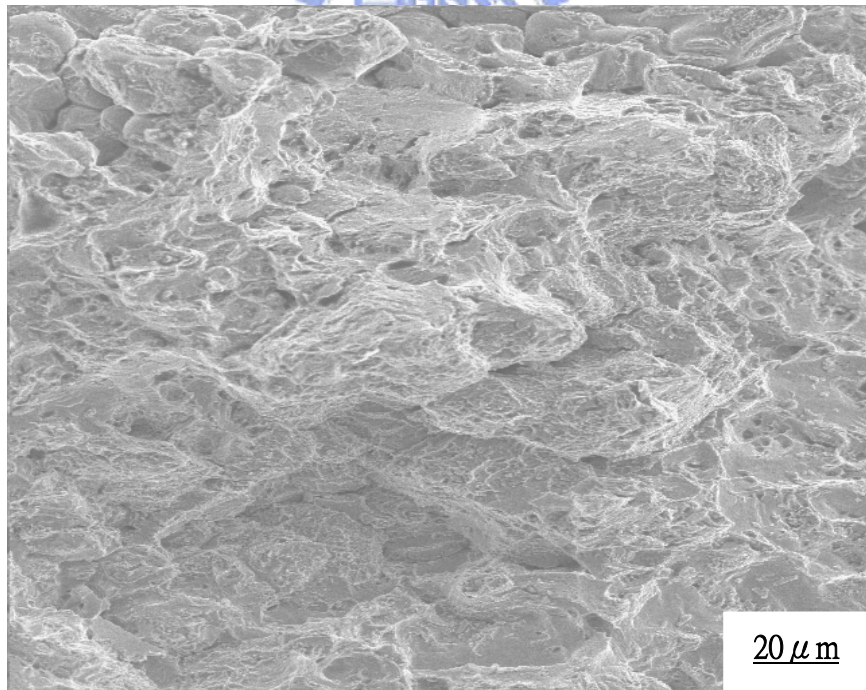


圖 30 7Al-8.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

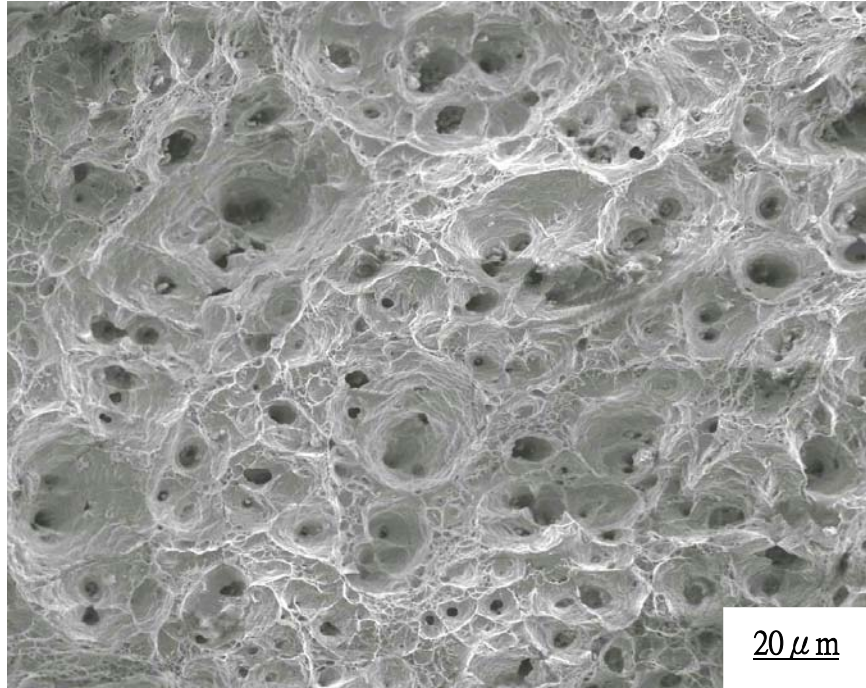


圖 31 9Al-3.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

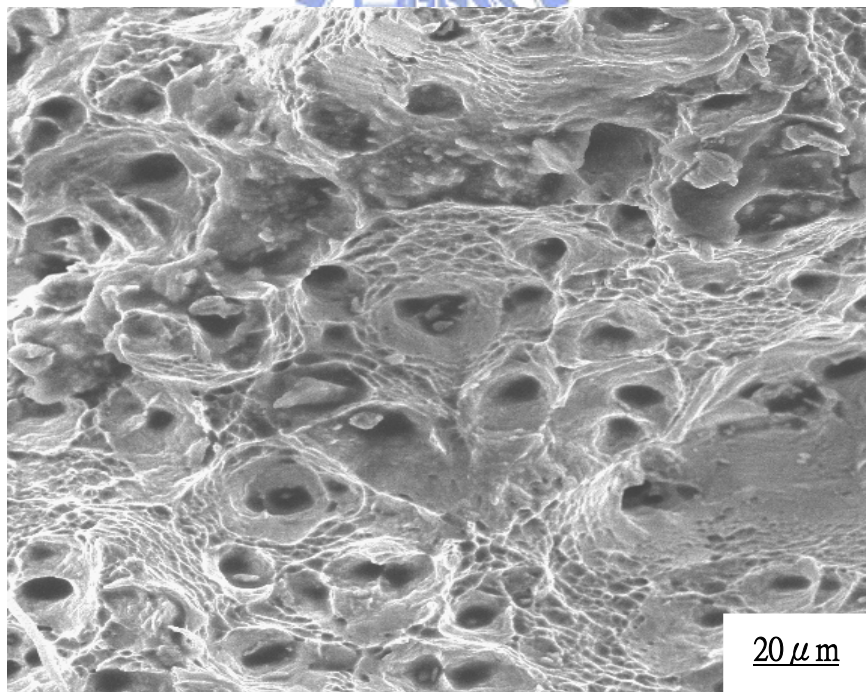


圖 32 9Al-5.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

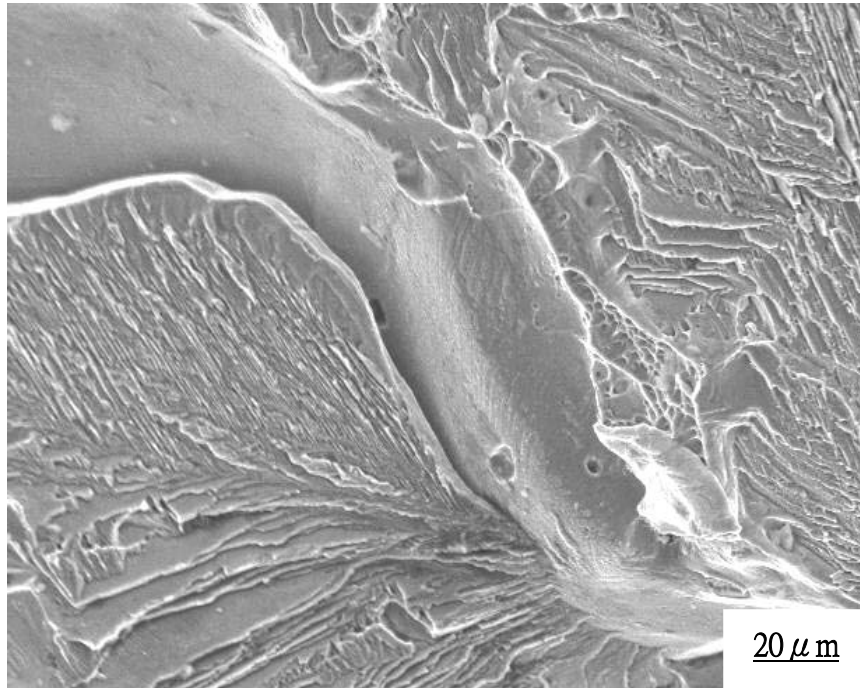


圖 33 9Al-6.5Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

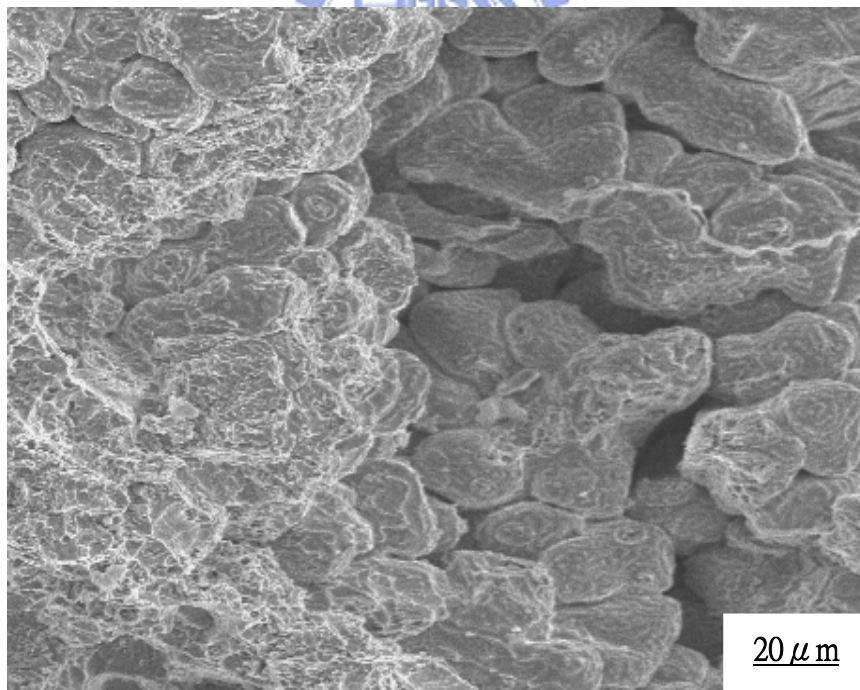


圖 34 9Al-8.0Cr 合金經拉伸試驗後破斷面之 SEM 照片

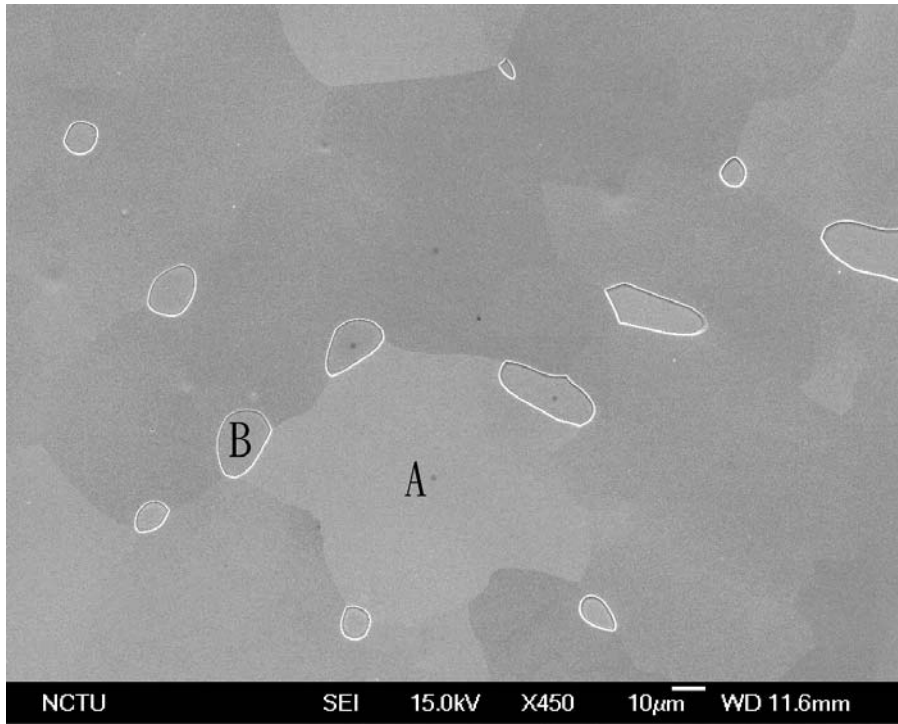


圖 35 7Al-3.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

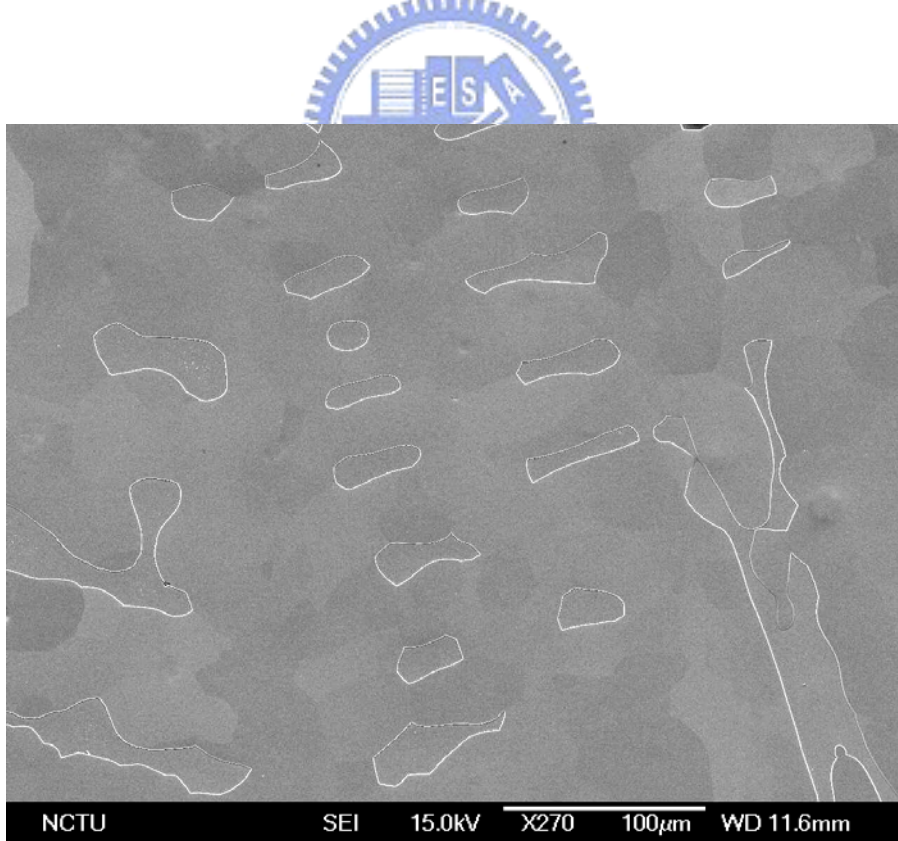


圖 36 7Al-5.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

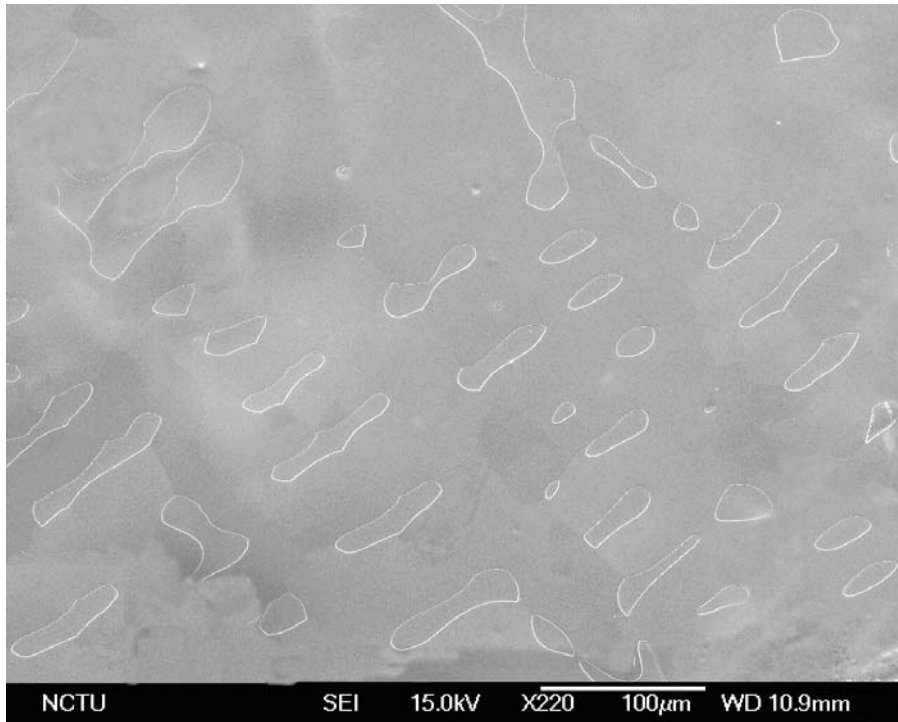


圖 37 7A1-6.5Cr 合金 SEM 顯微結構照片

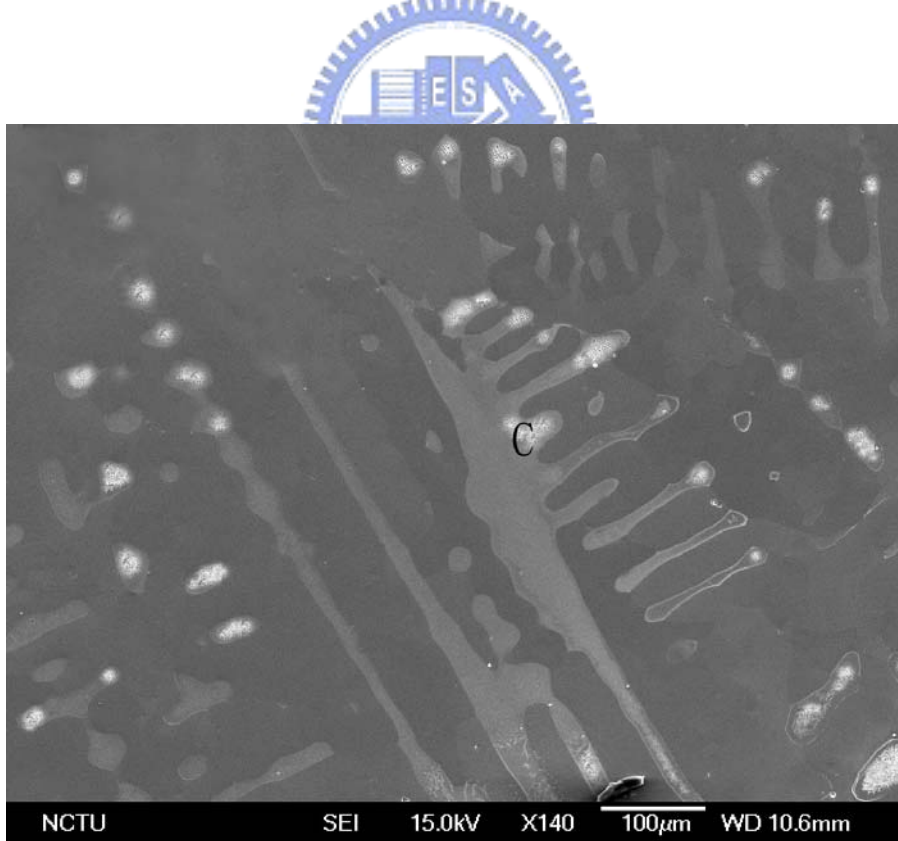


圖 38 7A1-8.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

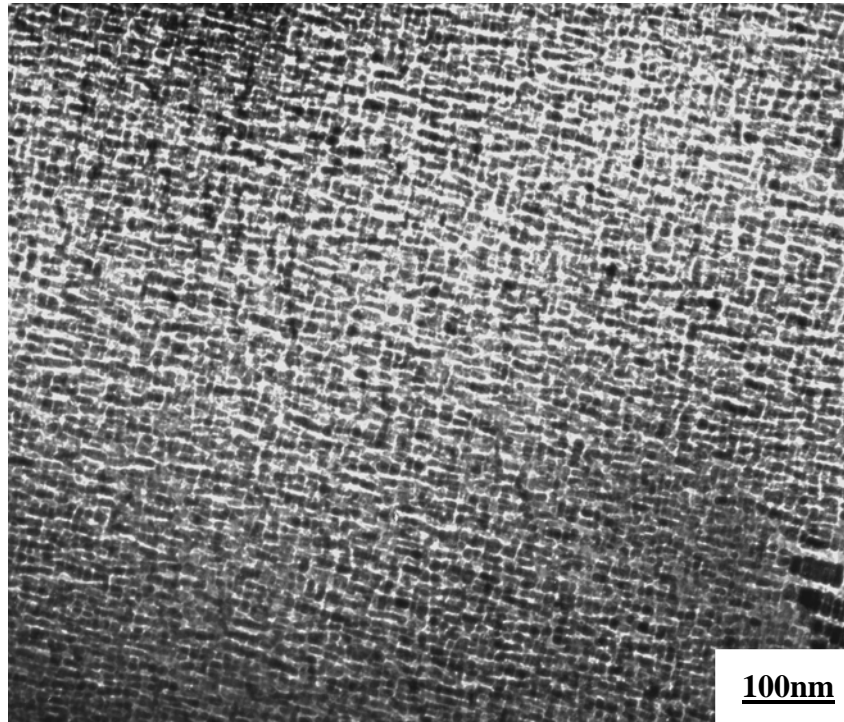


圖 39 (a) 取自圖 35 標示 A 的 TEM 明視野照片

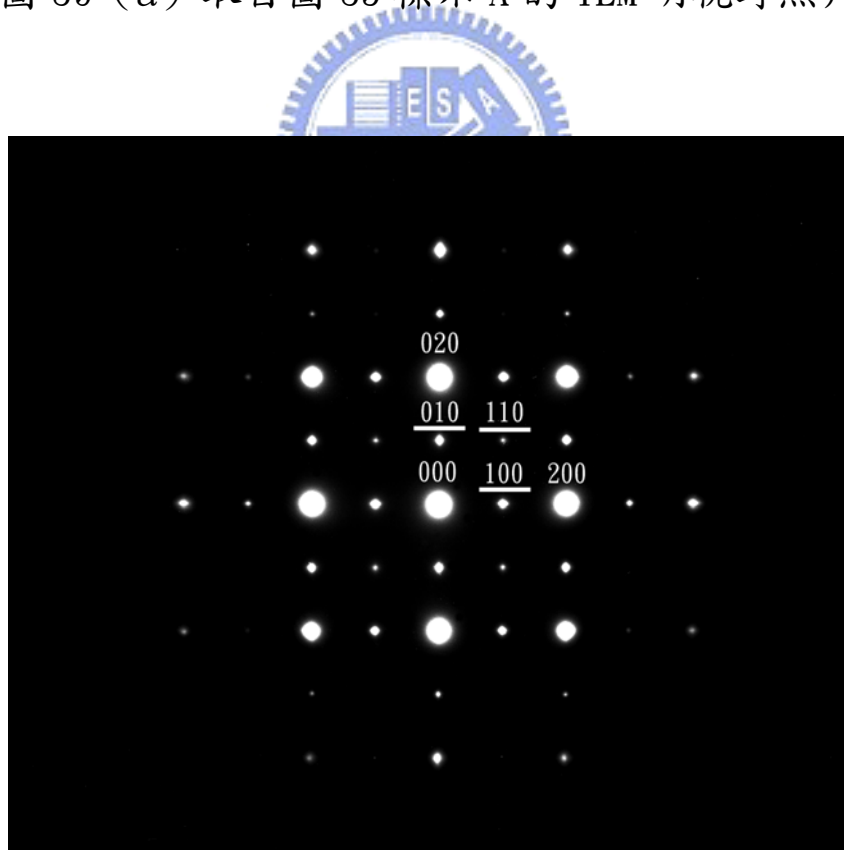


圖 39 (b) 取自圖 39 (a) 之擇區繞射圖型 (SADP)，區軸為
[001]

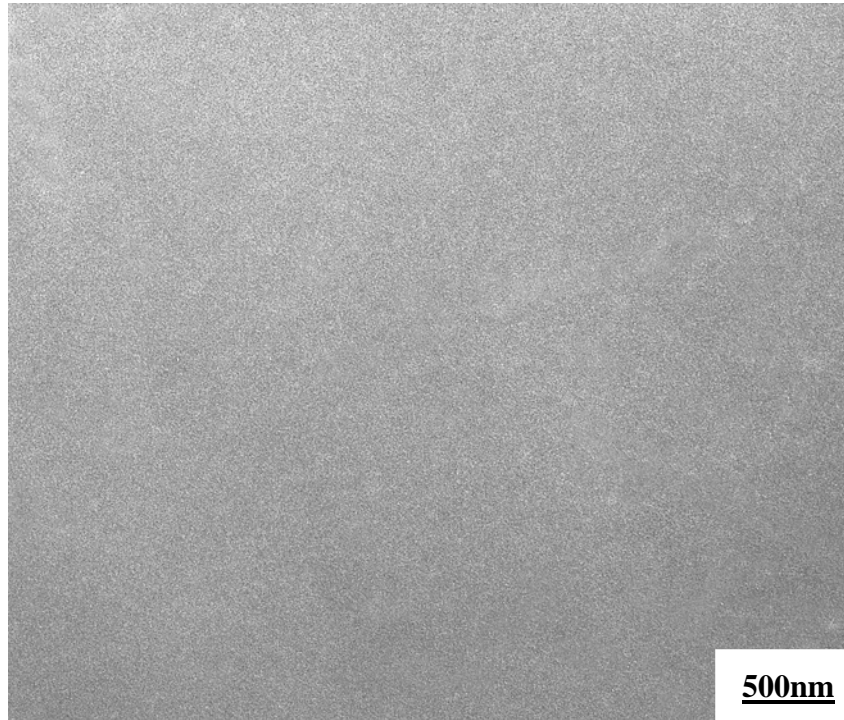


圖 40 (a) 取自圖 35 標示 B 的 TEM 明視野照片

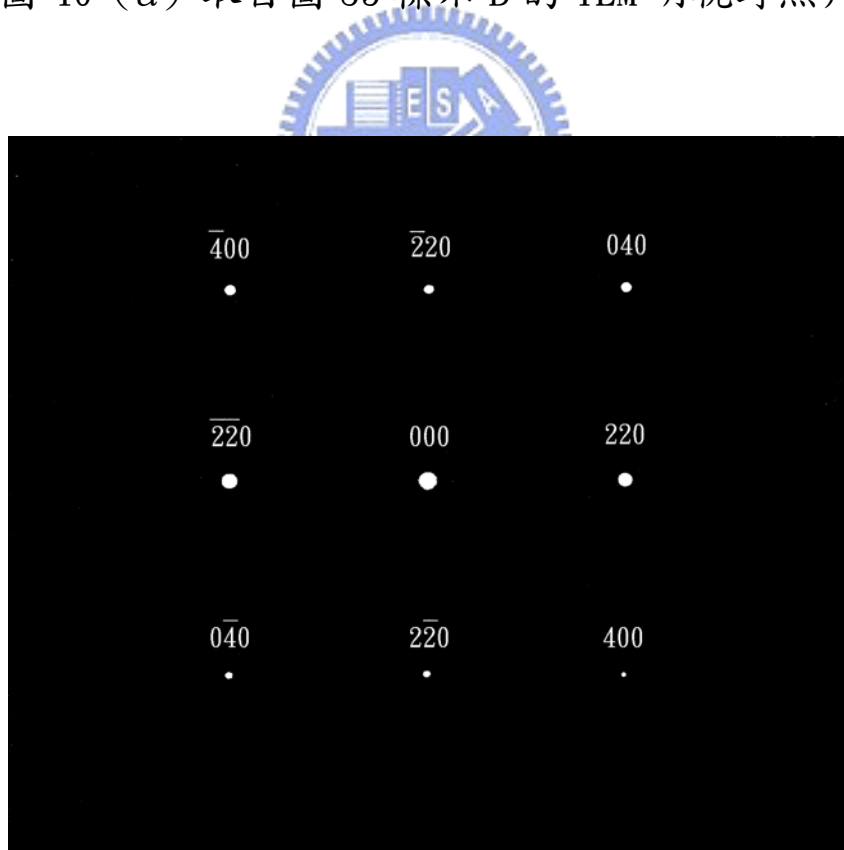


圖 40 (b) 取自圖 40 (a) 之 SADP，區軸為 $[001]$

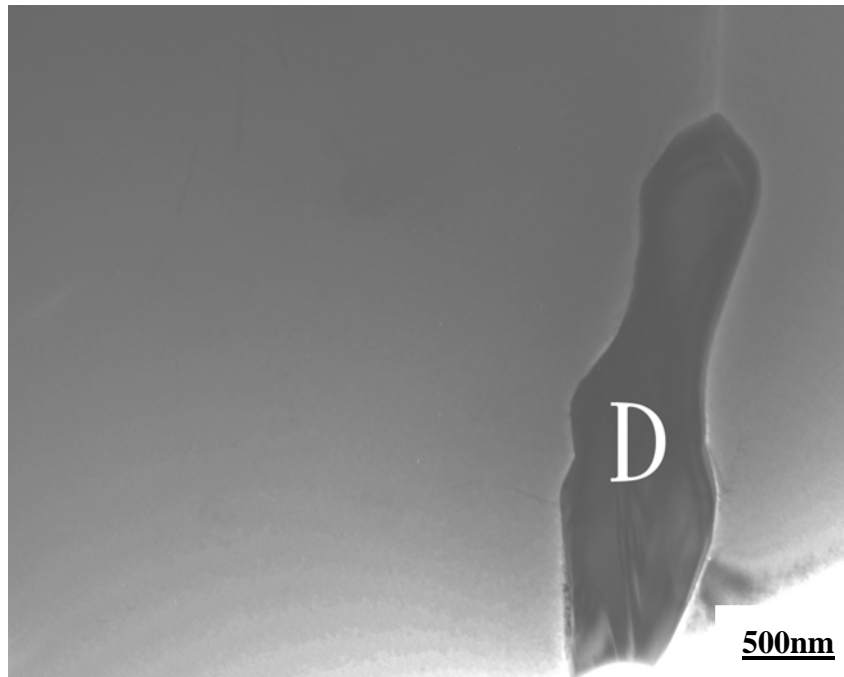


圖 41 (a) 取自圖 38 標示 C 的 TEM 明視野照片

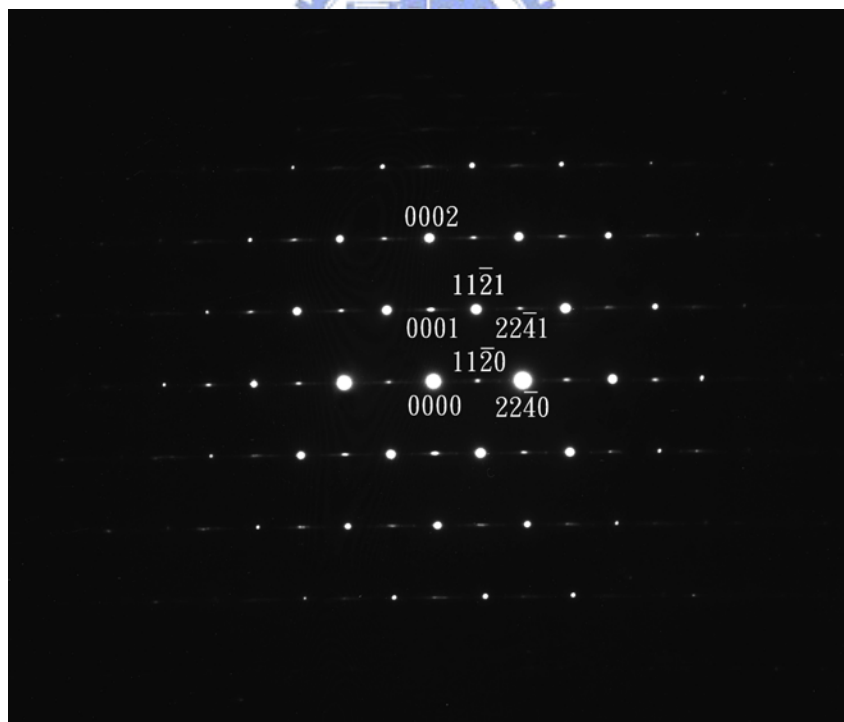


圖 41 (b) 取自圖 41 (a) 標示 D 之 SADP，區軸為 $[1100]$

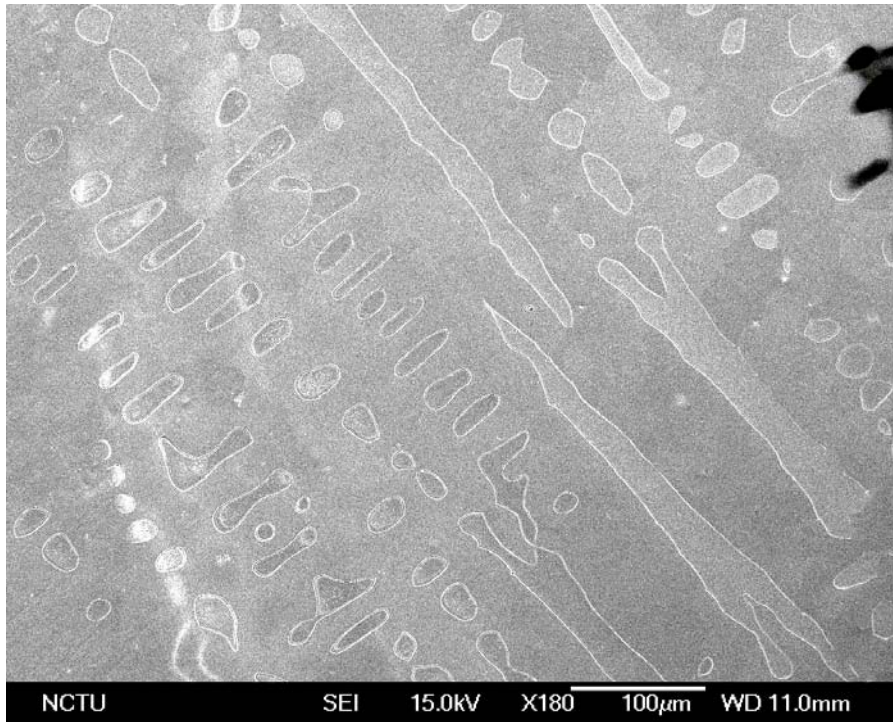


圖 42 9Al-3.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

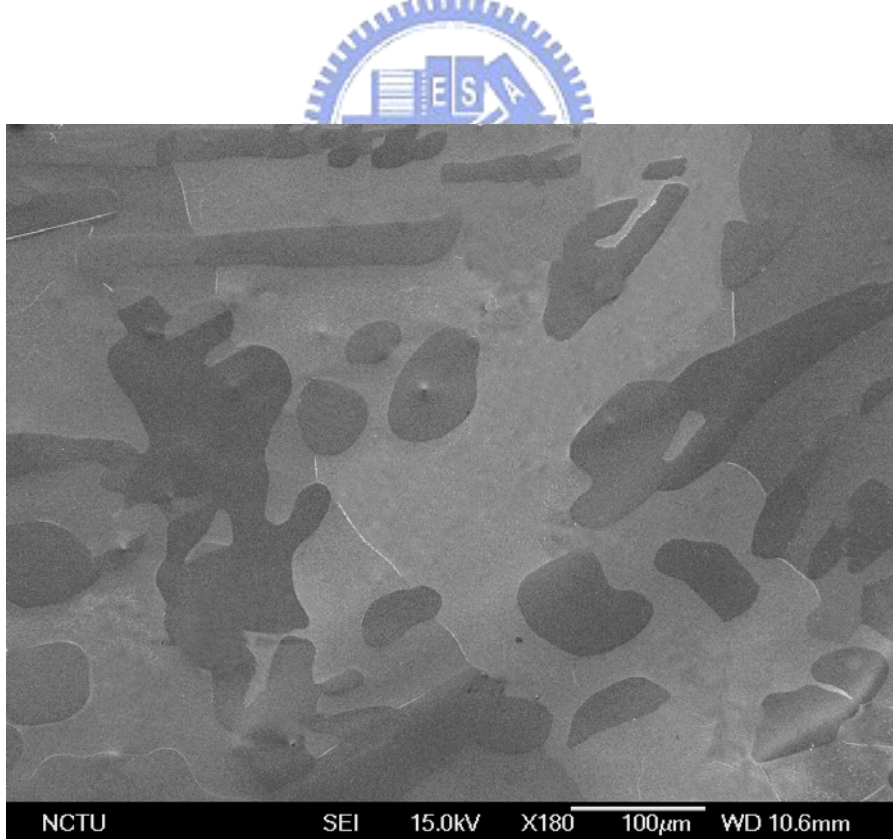


圖 43 9Al-5.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

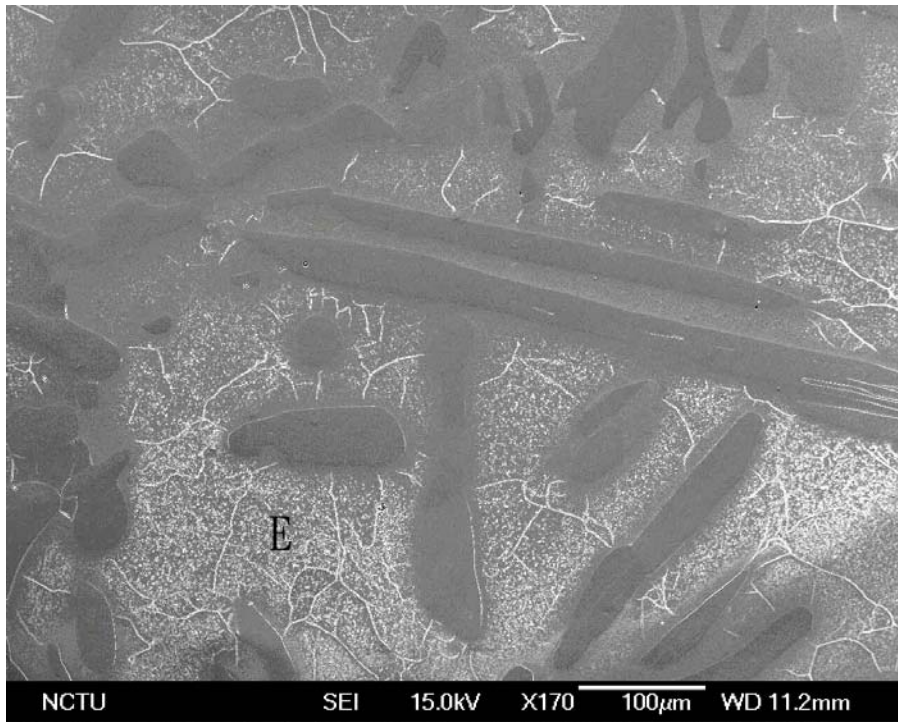


圖 44 9Al-6.5Cr 合金 SEM 顯微結構照片

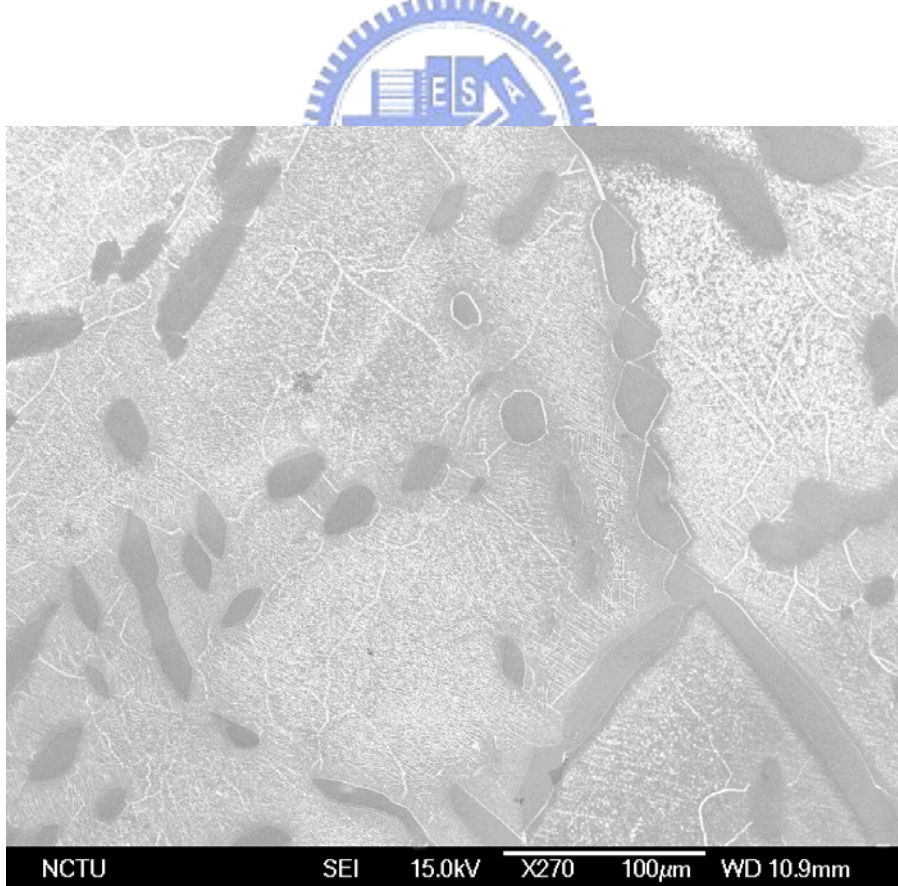


圖 45 9Al-8.0Cr 合金 SEM 顯微結構照片

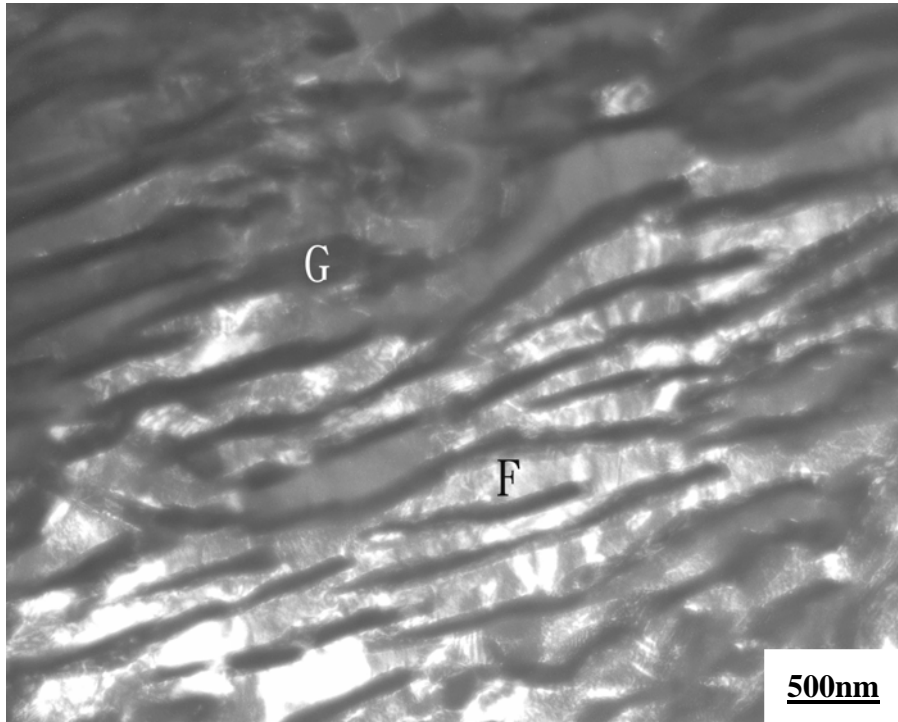


圖 46 (a) 取自圖 44 標示 E 的 TEM 明視野照片

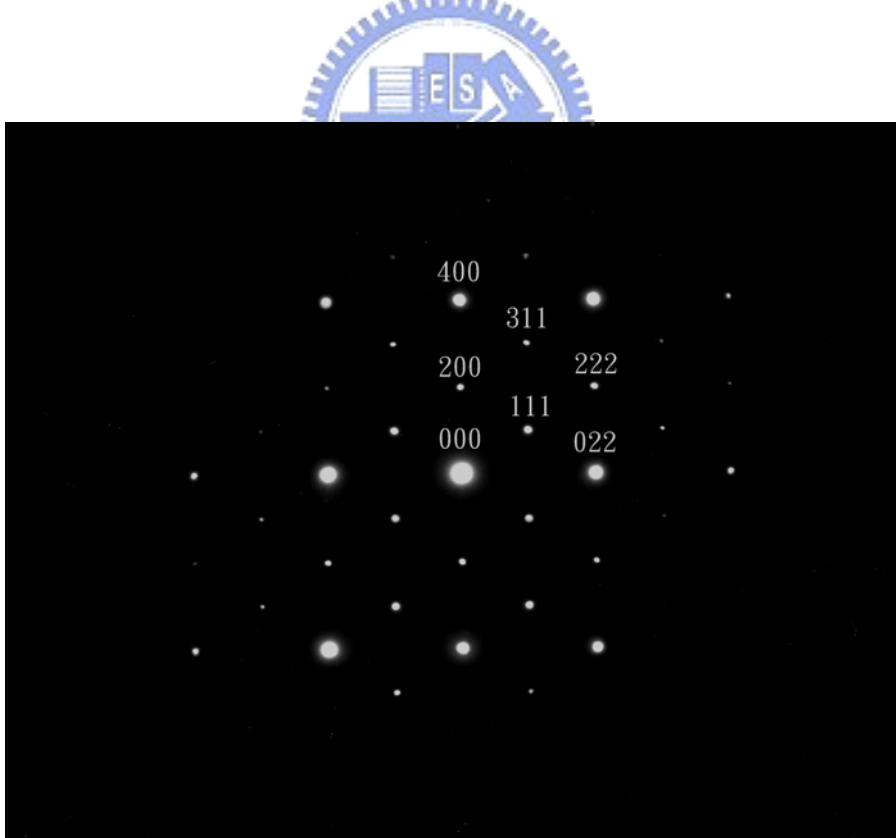


圖 46 (b) 取自圖 46 (a) 標示 F 之 SADP，區軸為 $[001]$



圖 46 (c) 取自圖 46 (a) 標示 G 之 SADP，區軸為 $[1100]$

4. 結論

本篇論文仍利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及穿透式電子顯微鏡 (TEM) 來觀察在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳及鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金中添加重量百分比 3.0wt. %, 5.0 wt. %, 6.5 wt. % 及 8.0 wt. % 鉻含量經固溶熱處理後, 其顯微結構之變化, 並利用萬能拉伸試驗機 (instron)、恆電位儀、X 光光電子能譜分析 (XPS) 與鹽霧試驗機來探討成份及顯微結構對合金機械性質和抗蝕性的影響, 其所得結論如下:

- (1) 未添加鉻之鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金, 在電化學腐蝕測試動態極化曲線後, 並無明顯之鈍化區形成, 但在合金中添加鉻含量後, 可發現明顯之鈍化區存在。
- (2) 在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金中添加鉻含量達 6.5wt. % 時, 將在合金表面形成氧化鉻 (Cr_2O_3) 及氧化鋁 (Al_2O_3) 之緻密氧化鈍態膜, 使合金在動態極化曲線中呈現穩定且寬廣的鈍化區與最低之腐蝕電流密度 (i_p), 且在 24 小時鹽霧試驗後具有最佳之抗蝕能力。
- (3) 在鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金中添加鉻含量達 5.0wt. % 時, 可使合金在動態極化曲線中呈現穩定且寬廣的鈍化

區與極低之腐蝕電流密度 (i_p)，且在 24 小時鹽霧試驗後仍具有極佳之抗蝕能力。

(4) 在鐵-30 錳-7 鋁-1.5 碳合金及鐵-30 錳-9 鋁-1.5 碳合金中分別添加 8.0wt.% 及 6.5wt.% 或以上之鉻元素時，將造成 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 硬而且脆之碳化鉻在樹枝狀晶臂間隙析出。在外加應力作用下，不僅沿著樹枝狀枝臂發生破裂，使破斷模式由延性破裂轉變為脆性破裂，造成延性急劇下降，更因碳化鉻 $(Fe, Mn, Cr)_7C_3$ 的增加，導致其周圍形成一缺鉻區，而抑制了氧化鉻 (Cr_2O_3) 之氧化保護膜的生成，致使其動態極化曲線之鈍化區範圍銳減，且在 24 小時鹽霧試驗後合金表面出現孔蝕之現象，呈現出不良之抗蝕性。

(5) 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及穿透式電子顯微鏡 (TEM) 觀察，發現其顯微結構為樹枝狀和樹枝狀枝臂間隙交錯分佈。樹枝狀之顯微結構為沃斯田鐵相 (γ) 和具有 $L'1_2$ 結構之微細的 κ' 碳化物共存，樹枝狀枝臂間隙則為肥粒鐵 (α) 相。其沃斯田鐵相與肥粒鐵相之比值 (γ/α) 將隨鉻含量增加而減少，造成合金機械強度增加，延伸率下降。

(6) 在相同鉻含量下，當鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，合金中添加鉻含量只要達 6.5wt.% 時，即可發現碳化鉻 $(\text{Fe, Mn, Cr})_7\text{C}_3$ 析出，且由於鋁含量之增加，在樹枝狀枝臂間隙內之肥粒鐵相將轉變為更具脆性之 DO_3 規律相，使合金更具脆性。

(7) 在相同鉻含量下，當鋁含量由 7wt.% 增加至 9wt.% 時，含 9wt.% 鋁之合金不僅在動態極化曲線和 24 小時鹽霧試驗的抗蝕能力表現上均優於含 7wt.% 鋁之合金，且亦具有較高之機械強度，但延伸率較低。



參考文獻

1. T.F.Liu: "Hot-Rolled Alloy Steel Plate ",U.S. Patent No. 4968357.(1990); R.O.C. Patent No. 42454(1990); R.O.K. Patent No.53613(1992); UK Patent No.2227495(1993).
2. J.C. Benz and H.W. Leavenworth, Jr: J. Met., March, 36(1985).
3. S.C. Chang and Y.H. Hsiau: J. Mater. Sci., 24, p. 1117(1989).
4. K.H. Han and W. K. Choo: Metall Trans. A, 20A, p. 205(1989).
5. T.F. Liu and C.M. Wan: Strength Met. Alloys, 1, p. 423(1986).
6. K. Sato, K. Tagawa and Y. Inoue: Metall. Trans. A, 21A, p. 5(1990).
7. K.H. Han, J.C. Yoon and W.K. Choo: Scripta Metall., 20(1), p. 33(1985).
8. K. Sato, K. Tagawa and Y. Inoue: Mat. Sci. & Eng., A111, p. 45(1989).
9. J.E. Krzanowski: Metall. Trans. A, 19A, p. 1873(1988).
10. W.K. Choo and D.G. Kim: Metall. Trans. A, 18A, p. 759(1987).
11. K.H. Han and W.K. Choo: Trans. A, 14A, p. 973(1983).
12. P.R. Rao and V.V. Kutumbarao: Inter. Mater. Rev., 34(2), p. 69(1989).
13. C.J. Alstetter, A.P. Bently, J.W. Fourie and A.N. Kirkbride: Mater. Sci. Eng., 82, p. 13(1986).
14. S.K. Banerji: "The 1982 Status Report on Fe-Mn-Al Steels", Foote

Mineral Co. exxon, PA(1982).

15. R.K. You, P.W. Kao and D. Gan: Mater. Sci. Eng., A117, p. 141(1989).

16. H.J. Lai C.M. Wan: J. Mater. Sci. Eng., A117, p. 141(1989).

17. T. S. Shun, C.M. Wan and J.G. Byrne: Scripta Metall., 25, p. 1769(1991).

18. H.J Lai and C.M. Wan: Scripta Metall., 23, p. 179(1989).

19. S.C. Tjong, Mater. Char., 24, p. 275(1990).

20. Z. Sun, H.A. Davies and J.A. Whiteman, Metal Sci., 18, p. 459(1984).

21. K.G. Kim, Y.S. Park and J. K. Han, Metall. Trans., 16A, p. 1689(1985).

22. A.S. Ilyushin and I.A. Nikanorova, Phys. Met. Metall., 57, p. 173(1984).

23. S.C. Tjong, Materials Science and Engineering, 80, pp. 203(1986).

24. Y.G. Kim, Y.S. Park and J.K. Ham, Metall. Trans. A, 16, p. 1689(1985).

25. Y.G. Kim, J.K. Ham and E.W. Lee, Metall. Trans. A, 17, p. 2097(1986).

26. 劉增豐,高強度高延展性熱軋合金鋼板及其製造方法,國科會,中

華民國, No.42454, 1992, NSC80-0405-E009-09

27. 劉增豐, Hot-Rolled Alloy Steel Plate, 國科會, 美國, No.4968357,
1993, NSC80-0405-E009-09

28. 劉增豐, 高強度高延展性熱軋合金鋼板及其製造方法, 韓國
No.53613, 1993, NSC80-0405-E009-09

29. 劉增豐, Hot-Rolled Alloy Steel Plate, 法國 No.8902580,
1994, NSC80-0405-E009-09

30. 劉增豐, Hot-Rolled Alloy Steel Plate, 英國 No.2227495,
1994, NSC80-0405-E009-09

31. 劉增豐, Hot-Rolled Alloy Steel Plate, 加拿大 No.1333556,
1994, NSC80-0405-E009-09

32. 劉增豐, 高強度高延展性熱軋合金鋼板及其製造方法, 日本
No.1971688, 1995, NSC80-0405-E009-09

33. 劉增豐, Hot-Rolled Alloy Steel Plate, 德國 No. 3903774, 1997,
NSC80-0405-E009-09

34. S.K. Banerji, Metal Prog, April (1978) p.59.

35. S.K. Banerji, Foote Mineral Company Report, (1982) .

36. J.C. Benz and H.W. Leavenworth Jr, J.Metal, 3 (1985) p.36.

37. R.Wang and F.H. Beck, Met.Progr. 3 (1983) p.72.

38. R.Wang and R.A. Rapp, in Proceedings of 9th International

- Corrosion Conference, Toronto, June 4 (1984) p.545.
39. W.T Tsai, J.B. Duh, and J.T. Lee, J.Mater.Sci.22 (1987) p.3517.
40. S.C Tjong, Surface and Coating Tech, 28 (1986) p.181.
41. C.T. Lin, Master Thesis, National Tsing Hua University, 1988.
42. IL'YUSHLA, A.S and ZAKHAROVA, M.I. Fiz. Metal.
43. W.Koster and W.Tonn, Arc Eisenhuettenw,7.365 (1933) .
44. J.W. Lee, Journal of Chinese Corrosion Engineering, Vol.13,No.4,
p.139~147 (1999)
45. S.T. Shin, C.Y. Tai, and T.P. Perng, Corrosion Science 49 (1993) p.1.
46. M.Ruscak and T.P. Perng, Corrosion Science 51 (1995) p.4.
47. Y.J Gau, J.K Wu, Corrosion Prevention & Control, April 1997.
48. Y.J Gau, J.K Wu, J.Mater. Sci.11 (1992) p.119-121
49. Y.Zang, C.Shih, C.Shin, Acta Metall. Sin. 8 (1965) : p.352.
50. C.Shin, Y.Zang, Y.Xu, Y.Li, Adv.Cryog.Eng.Mater.30 (1983) : p.161.
51. Y.Zang, Selections From 1970-1980 Excellent Articlec of the Chinese
Society of Metals, 3rd part (Beijing,China : metallurgical Industry
Press, 1984) , p.221.
52. Y.Zang, L.Su, Acta Metall.Shin. 19 (1983) : p.253.
53. Y.Zang, Acta Metall. Sin. 19 (1983) : p.262.
54. Y.Zang, Acta Metall. Sin. 19 (1984) : p.313.

55. X.Tian, Y.Zhang, C.Shin, *Acta Metall.Sin.*22 (1986) : p.101.
56. Y.Zhang, M. Wang, X.Zhao, Y.Xu, K.Piao, *Iron Teel* (1982) : p.45.
57. C.Shin, Y.Zhang, *Encyclopedia of Materials Science and Engineering*,
Suppl.3 (Oxford, England : Pergamon Press,1993) , p.1,719.
58. X.M Zhu, Y.S. Zhang, *Corrosion* 54 (1998) p.3.
59. X.M Zhu, Y.S. Zhang, *Corrosion* 55 (1999) p.1.
60. C.M. Chu, H.Huang, P.W. Kao and D.Gan, *Scripta Metallurgical*,
Vol.30, p. 505~508 (1994) .
61. Y.Zang, C.Shih, *Acta Metall. Sin.*7 (1964) : p.285.
62. C.N. Hwang, C.Y. Chao, and T.F. Liu, *Scripta Metall*, 28, p.109~144
(1993) .
63. S.C. Chang, J.Y. Liuo, C.M. Wan, and T.F. Liu, *Conference
Proceedings*, March 2-6 (1986) , p. 381~388.
64. T.F. Liu and C.M. Wan, *Scripta Metallurgical*, 19, No.7 (1985) .
65. T.F. Liu and C.M. Wan, *Scripta Metallurgical*, 19, No.6 (1985) .
66. Y.S. Zhang, X.M Zhu, *Corrosion Science* 46 (2004) p.853~876.
67. C.J. Wang, J.G. Duh, *Journal of Materials Science*, 23, (1988)
p.769~775.
68. Y.H. Zhang, X.Zhu, and S.Zhong, *Materials Tech*, steel research 64,
11, (1993) ,p.564~569.

69. Y.S. Zhang, X.M. Zhu, Corrosion Science, 41, (1999), p.1817~1833.
70. R.K. Yao, S.M. Chu, Po-We Kao,D. Gan and H. Chang, Scripta Metallurgica, 22, (1988) , p.995~998.
71. J.Y Liu, S.C. Chang, Journal of Materials Science, 31, (1996) , p.4159~4164.
72. Y.S. Zhang, X.M. Zhu, M. Liu,R.X. Che, Applied Surface Science, 222, (2004) , p.89~101.
73. Y.F. Cheng, F.R. Steward, Corrosion Science, 46, (2004) , p.2405~2420.

