

SUS316 不銹鋼低溫滲碳處理滲碳及其效果

The investigation on the low temperature carburizing effect of 316 stainless steel

陳忻圻(S.H. Chen)^{1*}，林東毅(D.Y. Lin)^{1,2**}，黃維彬(W.P. Huang)²

¹國立高雄大學化學工程及材料工程學系

²國立高雄大學扣件及鋼鐵技術研究中心

¹Dept. of Chemical and Materials Engineering, National University of Kaohsiung

²Fastener & Steel Research Center, National University of Kaohsiung

摘要

316 沃斯田鐵系不銹鋼具有較佳的抗蝕能力，仍需藉由滲碳的方式來強化表面強度，始能提升硬度與抗磨耗性質，且耐蝕能力也影顯著的提升。此製程在國外已屬商業化製程與商品，所以推廣此低溫滲碳製程於高潔淨度環境使用，應用範疇可涵蓋半導體廠、電子廠、光電廠、化工廠或其它用需於高純度氣體管件輸送之零組件；亦可使用此技術於高磨耗應用之場合。

目前在國內，尚無任何熱處理廠能進行此一製程，故在本研究中透過調整滲碳氣氛比、滲碳溫度，進行熱處理爐的調整及參數的改變，以及由電化學極化試驗得知其抗蝕能力，釐清製程參數對 316 不銹鋼滲碳效果之影響。

關鍵字: 316 沃斯田鐵系不銹鋼、低溫滲碳、製程參數

Abstract

316 austenitic stainless steel is used widely in chemical industry by their superior corrosion resistance and mechanical property. In order to extend the application field, surface hardness and wear property were proposed to increase by Low Temperature Colossal Super Saturation (LTCSS) carburization process.

In this study, 316 stainless steel was via Low Temperature Colossal Super Saturation (LTCSS) process to investigate the microstructure of hardened layer, mechanical property, and corrosion resistance. In order to clarify the carburizing effect of process parameters of 316 stainless steel, this research focuses on furnace adjustments and parameter changes, by adjusting the ratio of carburizing atmosphere, carburizing temperature, and the electrochemical polarization test.

Keywords: LTCSS, SS316, process parameters

1. 前言

LCD或LED等精密工業之液、氣體供應管件，因使用環境為高壓與高腐蝕性，故其材料必須符合高潔淨，高氣密性與高耐蝕性，故高壓接頭材料以具備優異機械性質與高抗蝕能力的SUS316不銹鋼為主。

SUS316 不銹鋼雖具耐蝕能力，但因材料表面硬度不足，故在加工成型後，需進行表面硬化處理。現有之滲碳製程因為溫度高，易發生相變，導致工件體積發生變化，失去接頭零組件之穩定性及精密性；同時，近年來環保意識抬頭，減低熱處理製程的能耗亦成為開發新製程的考量因素，因此，Swagelok公司針對沃斯田鐵系不銹鋼(austenite stainless steel)開發了低溫滲碳表面硬化技術，其特點在於熱處理製程溫度低(470 °C)，除了可避免於熱處理過程因為發生相變，產生體積變化外，亦可避免碳化物($M_{23}C_6$)析出而產生敏化現象，降低材料之抗蝕能力，如圖 1 所示[1]。另，文獻提及不銹鋼在滲碳處理後，碳原子固溶在沃斯田鐵系不銹鋼組織中，並以固溶強化的機制形成過飽和碳的結構，在提高材料強度與表面硬度的同時，又不影響其耐蝕能力[2, 3]。

LTCSS製程可分為4階段，第一與第三階段製程為鹽酸酸洗，藉已去除不銹鋼表面鈍化層，並活化試片表面；第二與第四階段製程為滲碳處理。目前國外已經進入量產階段[4]，但在台灣尚無此製程，故為提升台灣鋼鐵相關產業的競爭力，在本研究中進行熱處理爐的調整及參數的改變，透過調整滲碳氣氛比以及滲碳溫度，以及由電化學極化試驗得知其抗蝕能力，釐清製程參數對316不銹鋼滲碳效果之影響。

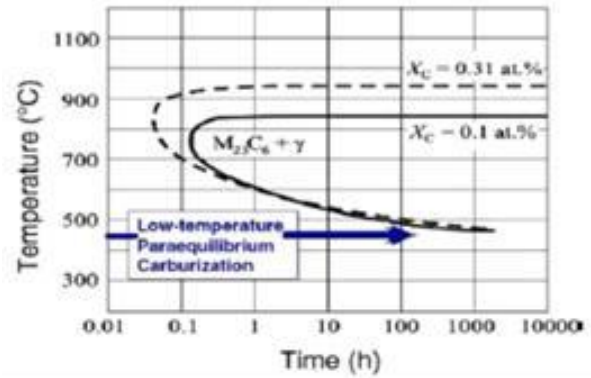


圖1 SUS316不銹鋼之TTT圖 [1]

Figure 1 The TTT diagram of SUS316 stainless steel.[1]

2. 實驗方法

試片為商業用SUS316不銹鋼板材 (20mm×20mm×2mm)，成份可參考Table.1，試驗前，表面以#2000的SiC砂紙進行研磨拋光。

於LTCSS製程分別以不同參數進行熱處理，包含調整滲碳氣氛比以及滲碳溫度，爾後將各參數之試片以光學顯微鏡(OM)與場發射電子顯微鏡(FE-SEM)觀察表面形貌及滲碳層厚度，輝光放電分析儀(GDOES)來進行成份分析；另以X光繞射儀(XRD)進行材料結構分析。此外，滲碳層硬度則使用維氏硬度機(Vickers Hardness Tester)測試，試片之耐蝕性則以電化學測試(3.5%NaCl)其耐蝕性。

Table.1 Chemical composition of 316 stainless steel

Element	C	Si	Mn	P	S
Content(%)	0.05	0.28	0.52	0.025	0.027
Element	Ni	Cr	Mo	Cu	
Content(%)	10.15	17.04	2.05	0.31	

3. 結果與討論

3.1. 滲碳層形貌觀察

SUS316 不銹鋼經不同滲碳氣氛比的低溫滲碳製程後，其截面形貌如圖 2 所示，不同滲碳比例氣氛皆有滲碳層於鋼材中形成，其中碳氫滲碳氣氛比例 2:1 所生成的滲碳層最厚，碳氫滲碳氣氛比例 1:1 次之，而碳氫滲碳氣氛比例 1:2 滲碳條件下所生成的滲碳層為三者中最薄的。改變滲碳溫度部分，結果如圖 3 所示，在改變滲碳溫度時，只有在滲碳溫度 400 °C 時沒有滲碳層生成，而在滲碳溫度 450 °C 和 500 °C 部份則有滲碳層生

成，其中滲碳溫度 500 °C 所生成的滲碳層最厚，滲碳溫度 450 °C 次之，而滲碳溫度 400 °C 滲碳條件下，鋼材中則無滲碳層生成。而如圖 4-(a)所示，可以看出滲碳氣氛比例對滲碳層厚度的關係，碳氫滲碳氣氛比例 2:1 時，滲碳層厚度約 40 μm ，碳氫滲碳氣氛比例 1:1 時，滲碳層厚度約 35 μm ，碳氫滲碳氣氛比例 1:2 時，滲碳層厚度約 15 μm 。另外，如圖 4-(b)所示，滲碳溫度對滲碳層厚度的關係，在滲碳溫度 500 °C 時滲碳層厚度約 35 μm ，滲碳溫度 450 °C 時滲碳層厚度約 20 μm ，滲碳溫度 400 °C 時無滲碳層。

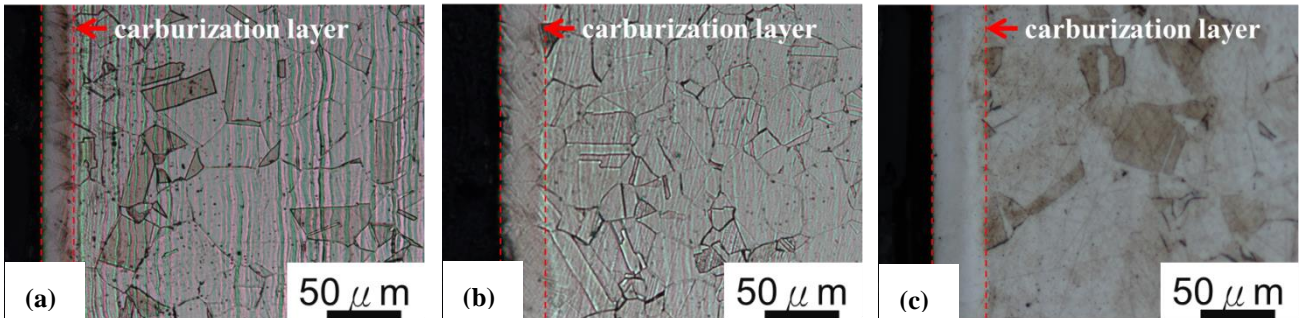


圖 2 SUS316 不銹鋼經不同滲碳氣氛比例低溫滲碳處理後滲碳層之顯微組織

(a) 1:2, (b) 1:1, (c) 2:1。

Figure 2 The microstructure of SUS 316 specimens carburized for various ratio of carburizing atmosphere (a) 1:2, (b) 1:1, (c) 2:1.

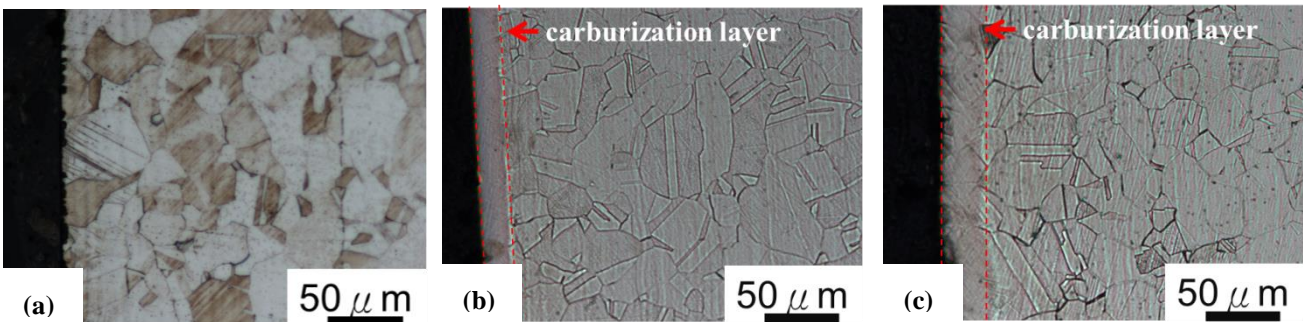


圖 3 SUS316 不銹鋼不同溫度低溫滲碳處理後滲碳層之顯微組織

(a) 400 °C, (b) 450 °C, (c) 500 °C。

Figure 3 The microstructure of SUS 316 specimens carburized for various carburizing temperature (a) 400 °C, (b) 450 °C, (c) 500 °C.

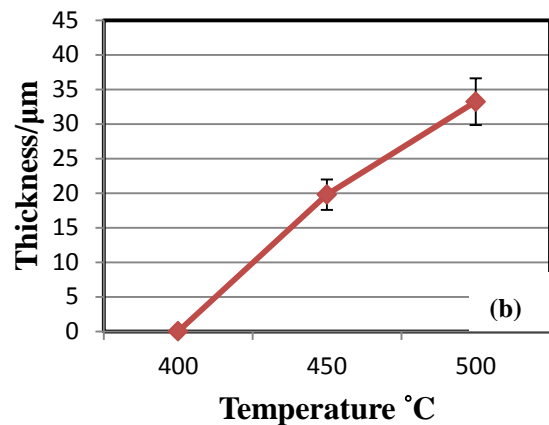
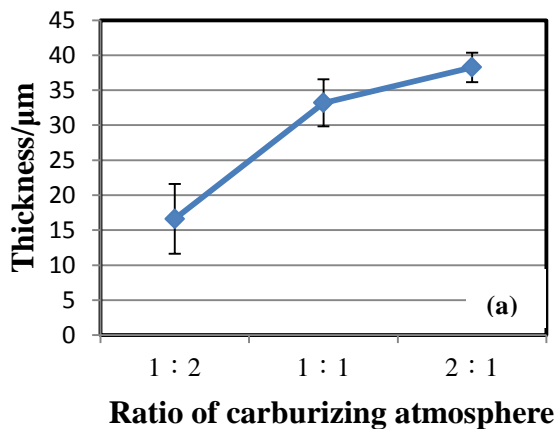


圖4 滲碳厚度與(a)碳氫滲碳氣氛比例，(b)滲碳溫度 之關係。

Figure 4 The relationship between carburized thickness and (a) ratio of carburizing atmosphere, (b) carburizing temperature.

3.2. 滲碳層硬度分佈

將試片進行硬度測試，如圖5所示，可以發現在改變滲碳氣氛比例的試片中，其滲碳層之硬度皆可達800 HV_{0.025}以上，而滲碳層以外的基材部分硬度約在300 HV_{0.025}左右；而改變滲碳溫度的部分，結果如圖5所示。除滲碳溫度400 °C之試片無滲碳層生成外，其他滲碳溫度試片之滲碳層硬度皆可達近800 HV_{0.025}，而滲碳溫度400 °C之試片及滲碳層以外的基材部分硬度一樣維持在300 HV_{0.025}左右。

3.3. XRD 結構分析

利用XRD可以從繞射圖譜中觀察出顯微組織及晶格的變化。圖6為316不銹鋼經不同氣氛比例及不同溫度之低溫滲碳處理後的XRD繞射圖。由圖中可看出，316不銹鋼基材只有單一沃斯田鐵相(γ)之峰值，並無其他析出物峰值於基材內，而經過不同滲碳氣氛比例參數之低溫滲碳處理後，發現除基材與滲碳溫度400 °C試片無繞射峰偏移外，其餘滲碳參數之試片皆有(110)、(200)繞射峰往左偏移的現象，說明此製程除了造成繞射峰偏移外，並不會造成316不銹鋼有碳化物形成。

3.4. 滲碳層化學組成與硬度之關係分佈

於滲碳的過程中，碳將以擴散的方式自316不銹鋼表面擴散至材料內部，故產生硬化層後與材料內部將出現一碳濃度之分佈曲線，如圖7所示。從文獻回顧[2]及XRD結構分析中可以確認強化機制為固溶強化，但卻無法得知滲碳層中之碳含量與硬度以及晶格撐大程度的直接關聯性，故此次以316不銹鋼板材經滲碳參數碳氫滲碳氣氛比例1:1低溫滲碳製程後進行實驗，並探討三者之關連性。如圖7所示，滲碳試片表面碳濃度可達17 at%(約4.2 wt%)，此時硬度可達800 HV_{0.025}以上。

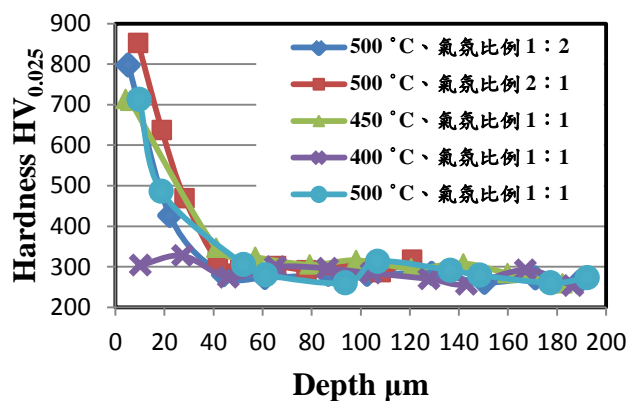


圖 5 SUS316 不銹鋼經不同參數滲碳處理後滲碳層厚度與硬度之關係。

Figure 5 The hardness profile of SUS316 specimens carburized of each parameters.

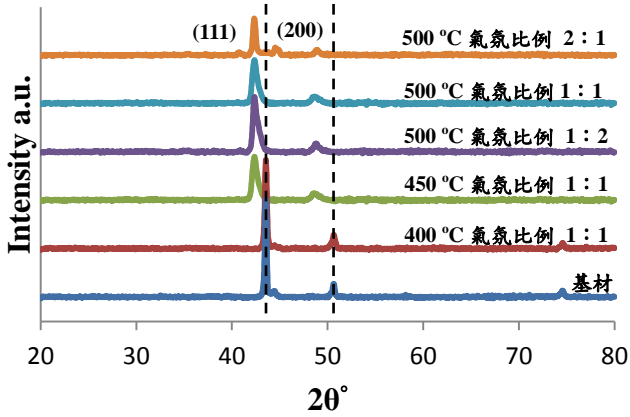


圖 6 經低溫滲碳後之 SUS316 不銹鋼 XRD 繞射圖。

Figure 6 XRD patterns of 316 stainless steel after LTCSS process.

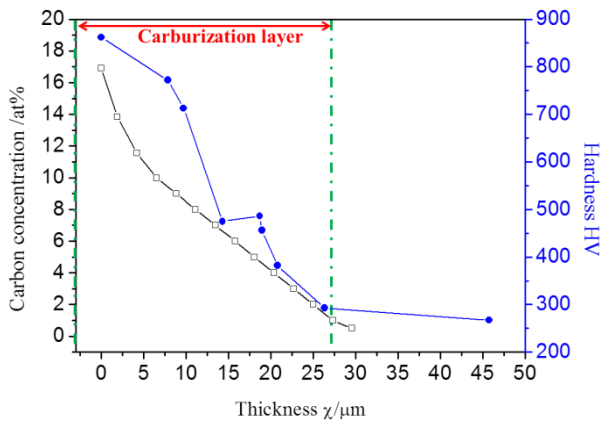


圖 7 碳濃度、滲碳深度與硬度關係圖。

Figure 7 The relationship between carbon concentration, carburization layer and hardness.

3.5. 抗蝕能力探討

試片之電化學極化曲線如圖 8 所示，由極化曲線發現，經滲碳處理後的試片相較於未經滲碳處理的試片，腐蝕電位較大，此結果顯示經過滲碳後的試片有較優的抗孔蝕能力。電化學實驗後之材料表面孔蝕型態之差異如圖 8 所示，由試片表面的孔蝕狀態發現，試片

經滲碳處理後，孔蝕範圍較於未經滲碳處理之試片小，而且孔蝕數目也明顯較少。此意謂經過滲碳處理後的試片表面之抗蝕能力優於未滲碳處理之試片。

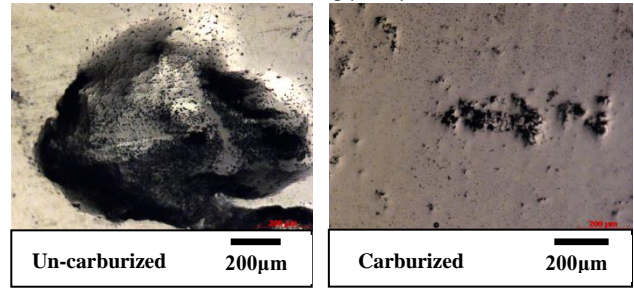
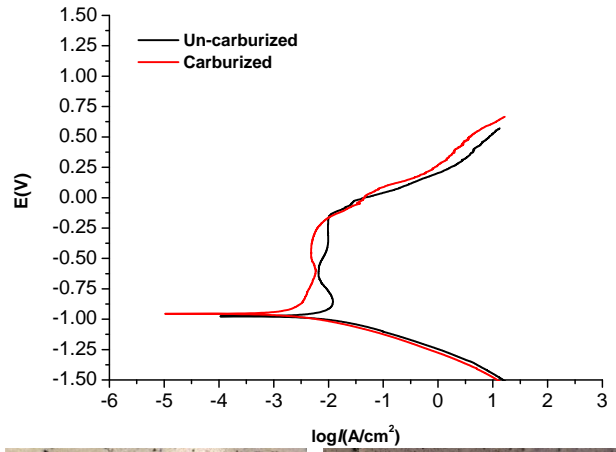


圖 8 SUS316 不銹鋼之電化學極化曲線與表面形態。

Figure 8 The polarization curve and OM images of SUS316 stainless steels analyzed in 3.5 % NaCl solution.

4. 結論

SUS316 不銹鋼經過不同參數的低溫滲碳處理製程(LTCSS)後，由滲碳層形貌觀察、XRD 結構分析、滲碳層硬度分佈、滲碳層化學組成、以及耐腐蝕能力探討的結果，可以得到以下的結論：

a. 由滲碳層形貌觀察及滲碳層硬度分布，建立數據化資料庫。

滲碳參數	硬度(HV)	厚度(μm)
500 °C 氣氮比例 2 : 1	800 以上	38.26
500 °C 氣氮比例 1 : 1	700 以上	33.2
500 °C 氣氮比例 1 : 2	700 以上	16.62

450 °C 氣氮比例 1 : 1	700 以上	19.78
400 °C 氣氮比例 1 : 1	約 300	0

- b. 從XRD繞射圖中可以發現，無發現碳化物的形成，硬化層主要為碳原子固溶所產生之固溶強化。
- c. 經低溫滲碳製成的試片表面之實驗值可達17 at%(約4.2 wt%)，此時硬度可達800 HV_{0.025}以上。
- d. 由金相製作時的腐蝕以及電化學耐腐蝕能力測試發現，低溫滲碳製程有助於SUS316 不銹鋼耐腐蝕能力的提升。

參考文獻

1. Weiss B., Stickler R., "Phase Instabilities During High Temperature Exposure Of SUS316 Austenitic Stainless Steel", Metallurgical transactions, 1972.
2. Wood WG, "Handbook of stainless steels", In: peckner D, Bernstein IM, editors. New York: Mc Graw Hill; 1972
3. Cao Y., Ernst F., Michal G.M., "Colossal carbon supersaturation in austenitic stainless steels carburized at low temperature", Acta Materialia 51 (2003) p.4171-4181
4. Low-Temperature Colossal Supersaturation, Advanced Materials & Processes/September 2006.