

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

特用型不銹鋼之機械與抗腐蝕性應用研究-總計劃(1/3)

**A Study on Mechanical and Corrosion Behavior of
 Special-Purpose Stainless Steels**

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2216-E-019-007-

執行期間：91年 8月 1日至 92年 7月 31日

計畫主持人：吳建國 教授

共同主持人：蔡履文 教授

開 物 教授

王星豪 副教授

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
 列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣海洋大學材料工程研究所

中 華 民 國 92 年 4 月 25 日

特用型不銹鋼之機械與抗腐蝕性應用研究-總計劃(1/3)

A Study on Mechanical and Corrosion Behavior of Special-Purpose Stainless Steels

計劃編號: NSC 91-2216-E-019-007-

執行期限: 91年8月1日至92年7月31日

主持人: 吳建國 國立台灣海洋大學材料工程研究所

一. 前言

由於人類為求生活品質的提升，不銹鋼的使用亦日趨廣泛，除了美觀之外，不銹鋼因其防蝕能力的提升，亦加強了結構的安全性，因此可以預期在未來不銹鋼的用量只會快速的成長，且其用途亦是愈來愈多樣化，另一方面依據功能需求而發展的不銹鋼，亦會加速進行開發。傳統上不銹鋼可分成四大類別，分別為沃斯田鐵型不銹鋼、肥粒鐵型不銹鋼、麻田散鐵型不銹鋼及析出硬化型不銹鋼等四大類別，為了結合單相不銹鋼優異機械與耐腐蝕能力，而開發出第五類不銹鋼，是為雙相不銹鋼，目前已應用於各種不同領域且具潛力，諸如石化工業含氯離子水溶液之運輸、儲存設備，需耐腐蝕疲勞之轉子及轉動設備等。目前雖有數種的特殊合金可以在如此惡劣的環境下使用，但是為求兼顧經濟效益，則雙相不銹鋼不但具有高強度機械性質，且具優越的抗腐蝕能力，而相對顯示出其重要性，所以逐漸被業界所接受，本研究群體初期即選定此一鋼種-雙相不銹鋼，從不同角度切入進行各項腐蝕相關研究。

二. 研究方向

材料受外界環境作用而導致損壞時，基本上可先粗分成受力與不受力

狀態。在受力狀態作用下，依外界負載狀態又可區分成持續應力作用或變動應力兩大類別，持續應力作用加上外界腐蝕環境，則產生應力腐蝕破壞。在變動應力作用下，當變動應力負載低時，加上外界環境劣化材料的結果，則發生高週腐蝕疲勞破壞，反之高負載應力作用則有低週疲勞破壞或低週腐蝕疲勞破壞，一般而言因低週疲勞破壞所受應力較大，腐蝕機制對此型態破壞影響較輕微，而應力來源則可為外界負載應力，或材料加工過程所產生之殘留應力，或兩者加乘。當材料在不受力狀態下，依材料所處外界環境溫度，亦可區分為常溫腐蝕破壞或高溫腐蝕劣化，常溫腐蝕型態包括大氣腐蝕、水溶液腐蝕等，高溫腐蝕則包括高溫氧化、硫化及熱鹽腐蝕等。

「特用型不銹鋼之機械及抗蝕性應用研究」是集合本校材料所及機械系相關領域專才同仁，組成一個整合型研究計劃群，計畫總目標下分數項研究領域；

子計劃一、水溶液腐蝕與防蝕及氫脆性研究。

子計劃二、高溫氧化及反應機構。

子計劃三、銲件應力腐蝕及腐蝕疲勞裂縫成長。

子計劃四、銲件低週疲勞及高應變速

率變形特性。

子計劃二、高溫氧化及反應機構

三. 研究成果

以下簡述各計劃之研究成果

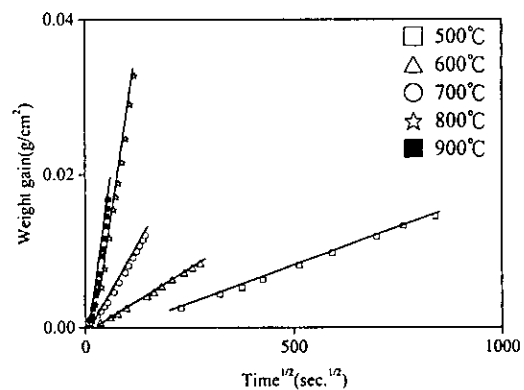
子計劃一、水溶液腐蝕與防蝕及氫脆性研究

本實驗主要利用電化學氫滲透量測、氫原子微印技術及慢速率拉伸試驗，針對 2205 雙相不銹鋼探討其氫脆性與氫原子擴散方式，表 1 所示為定電流密度充氫之氫滲透速率和擴散速率。本實驗結果發現，其平均的擴散速率為 2.2×10^{-14} ，數據明顯的看出有效擴散係數速率隨著冷加工的增加而降低；滲透速率則隨著冷加工的增加而增加。有效擴散係數速率隨著冷加工的增加而降低是因為冷加工後產生了差排和微孔洞，增加了許多氫捕集位置所致；由於冷加工後產生了許多差排，而差排會形成氫原子擴散的最短路徑，故滲透速率則隨著冷加工的增加而增加。根據氫原子微印實驗之結果，發現氫原子在 2205 雙相不銹鋼內部擴散的方式主要為晶格擴散，且在肥粒鐵相中之氫滲透速率和擴散速率高於沃斯田鐵相。

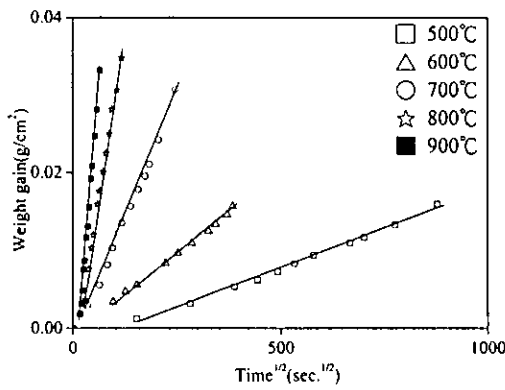
表 1. 電化學氫滲透量測結果。

2205 DSS	$D_{\text{eff}} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$J_{\infty} L (\text{mol} \cdot \text{H} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$
退火	2.2×10^{-14}	9.0×10^{-11}
冷加工 20%	1.9×10^{-14}	9.6×10^{-11}
冷加工 40%	1.7×10^{-14}	1.1×10^{-10}

本研究在探討 2205 雙相不銹鋼 (簡稱 2205DSS) 於溫度 500~900°C 之 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ 與 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 混合氣氛下的高溫硫化行為。結果顯示，2205DSS 之腐蝕動力學遵守拋物線型定律，如圖-1 所示，硫化反應速率控制步驟為固態擴散，且腐蝕速率隨溫度提高及水汽的加入而變快，經 XRD 繞射分析 2205DSS 之腐蝕生成物，腐蝕生成物大致分為複雜的內、外兩層硫化物，其中，在 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ 混合氣氛下之最外層主要含有硫化鐵 ($\text{Fe}_{1-x}\text{S}/\text{FeS}$) 與硫化鐵鎳 ($(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$) 之硫化物，內層主要為 Fe_{1-x}S 、 FeCr_2S_4 、 CrMo_2S_4 、 Cr_2S_3 及微量 Mo_2S_3 之硫化物。在 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 混合氣氛下，經腐蝕後並沒有氧化物的生成且腐蝕型態與 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ 混合氣氛下相似。由白金指標實驗得知，白金皆位於內層與外層腐蝕層之間，這表示外層硫化物之生成主要是由陽(鐵、鎳及鉻等)離子向外擴散所致，而內層硫化物的生成主要是由陰離子向內擴散所致。



(a)



(b)

圖 1 2205DSS 於不同溫度下腐蝕後重量增加變化量與時間平方根之關係圖(a) H_2/H_2S , (b) $H_2/H_2S/H_2O$ 。

子計劃三、銲件應力腐蝕及腐蝕疲勞裂縫成長。

本研究主要探討 2205 雙相不銹鋼及其雷射銲件，在大氣、氫氣與氫離子環境中，試件之應力腐蝕及腐蝕疲勞裂縫成長特性，並由試件的銲接過程中，發展適當的銲接參數，包括適當預熱以降低銲後冷卻速率，來提高 γ/α 比例。實驗並採用氫氣為吹驅及保護氣體，來提升熔融區內 γ 相含量，預熱另一優點為降低銲件殘留應力，故能改善雙相不銹鋼雷射銲件之抗應力腐蝕能力，並可降低氫脆敏感性。

疲勞裂縫成長實驗結果顯示，2205 雙相不銹鋼不同滾壓方向對疲勞裂縫成長並無影響，如圖 2 所示在氣態氫環境中疲勞裂縫成長因氫脆加速裂縫成長速度，硫化氫環境中其裂縫成長特性略同於氣態氫中，低 ΔK 區因硫化氫氫脆化影響導致裂縫成長加速，但在高 ΔK 區硫化氫影響並不明顯，使得裂縫成長特性逐漸與母材相

似。雷射銲接試片疲勞裂縫成長結果如圖 3 所示，因銲接造成殘留應力阻擋裂縫成長，所以在低 ΔK 區位置裂縫成長起始相當慢，但隨著裂縫成長殘留應力逐漸釋放裂縫成長快速加速現象減輕。

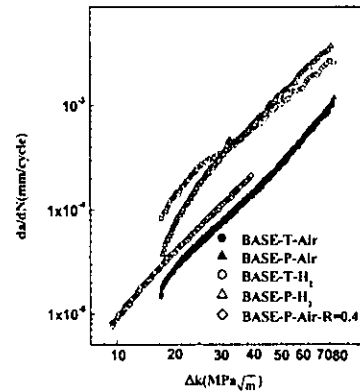


圖 2 2205 雙相不銹鋼母材不同滾壓方向於空氣與氣態氫環中之疲勞裂縫成長特性曲線圖。

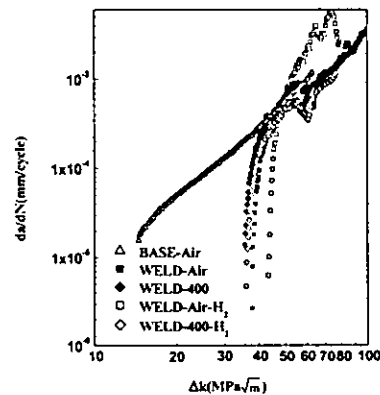


圖 3 雷射銲接試片裂縫開口距離銲道位置 10mm 之疲勞裂縫成長特性曲線圖。

子計劃四、銲件低週疲勞及高應變速率變形特性。

本研究主要探討兩種不同鉻 (Cr) 含量 SAF 2205 及 SAF 2507 雙相不銹鋼，其素材及銲件於大氣環境中之拉伸特性，以及應變振幅對循環應力變動之影響。實驗結果顯示：由銲道硬度分佈(圖 4)得知，2205 銲道熔融區的維氏硬度值約為 140~150Hv 高於母材區的硬度值約為 120~130Hv。2205 銲道熔融區主要形成的組織為肥粒鐵及少量晶界沃斯田鐵、碳化物、氮化物析出物，由於肥粒鐵的 BCC 結構及析出物造成銲道熔融區硬度提升。2507 銲道熔融區硬度則較母材區的硬度低(圖 4)，但差距不大，平均值約在 135Hv 上下，母材區則平均值約為 140Hv 左右。

在不同的應變速率 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-4}$ 、 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-3}$ 和 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-2}$ 下進行原材與銲件拉伸試驗，2205 雙相不銹鋼顯示有較優越於 2507 雙相不銹鋼的延伸率，而其銲件也有相同的趨勢，如圖 5 所示。增加應變速率會使 2205 的素材及銲件極限抗拉強度有略升的趨勢，但對 2507 素材及銲件則無明顯的改變。降伏強度方面，二者素材在 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 到 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 有大幅提升，但 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 到 $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 則維持持平狀態，至於銲件則呈現相反情況。

雙相不銹鋼在完全覆變定頻率 0.25Hz 週期疲勞作用下，其應變振幅從 0.6% 到 1.5% 對其應力振幅整理如圖 6 所示，2205 在初期為 5 到 7 循環數略有硬化趨勢但應力隨即下降直至斷裂，且在低應變振幅時初期硬化較不明顯，後期應力持續穩定下降，為一應力軟化反應。反之高應變振幅時初期硬化明顯，後期也亦為一穩定應力軟化現象。2507 受週期疲勞後趨勢也

如同 2205，為一先硬後軟現象。觀察其週期應力-應變曲線如圖 7，當應變升高時，2205 遲滯環有逐漸穩定軟化現象，且遲滯環會隨著變寬，表示內部吸收能量增加，相同應變振幅下與 2507 相比有較大吸收變形能量

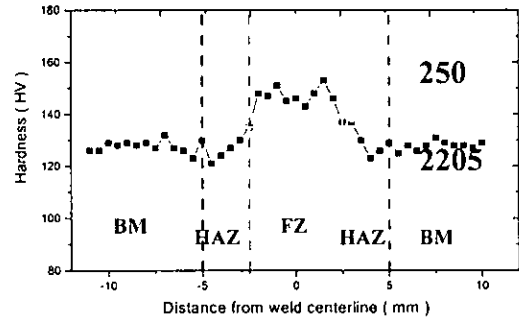
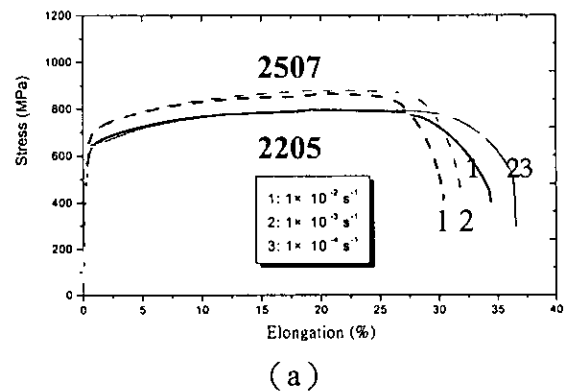
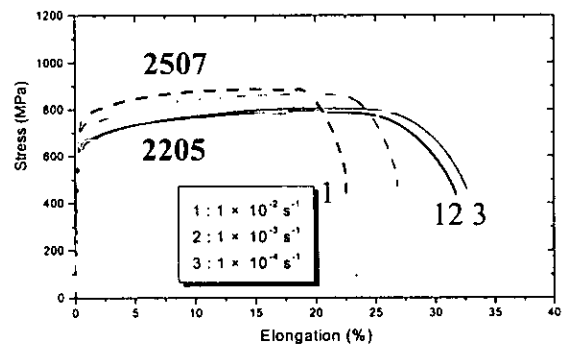


圖 4 雙相不銹鋼銲件硬度分佈圖



(a)



(b)

圖 5 雙相不銹鋼 (a) 素材 (b) 銲件拉伸試驗應力-應變曲線圖

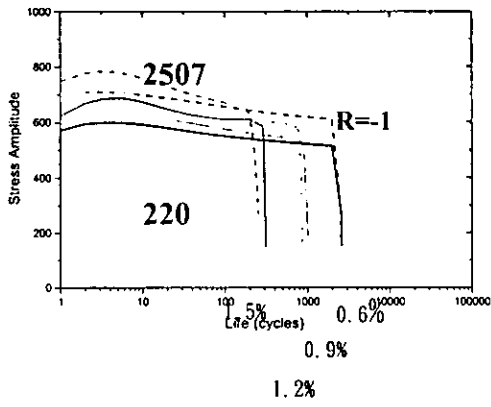


圖 6 在定頻率 0.25Hz 下，完全覆
變之
雙相不銹鋼應力硬化/軟化趨
勢圖

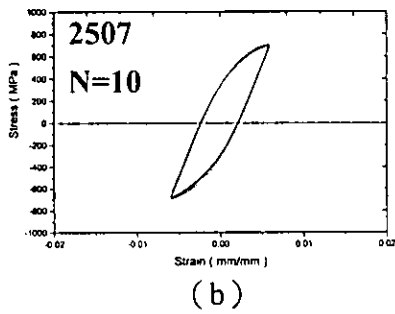
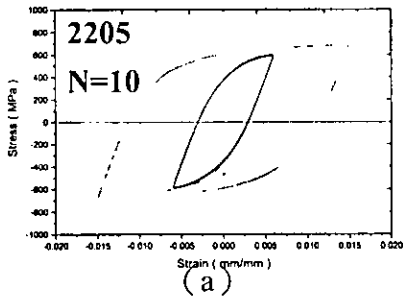


圖 7 在頻率為 0.25Hz 下，完全覆變雙相
不銹鋼 (a) 2205 (b) 2507 循環數
N=10 磁滯曲線圖

九十二年度 【特用型不銹鋼之機械與抗蝕性應用研究—總計畫(2/3)】經費預核清單

執行機關：國立台灣海洋大學材料工程研究所
 國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系暨研究所
 國立台灣海洋大學材料工程研究所
 主持人：吳建國 教授
 共同主持人：王星豪 副教授
 關物 教授
 蔡履文 教授

補助項目	申請金額	核定金額	說明
研究設備費	1,064,250	1,000,000	1. 熱天平, 裂縫伸張計等儀器設備 1,000,000元
其他費用	50,000	50,000	1. 文具紙張印影費, 資料檢索費, 差旅郵電費, 設備維護費等雜支 50,000元
管理費	111,425	84,000	
合計	1,225,675	1,134,000	執行期限：92/08/01 ~ 93/07/31 計畫編號：NSC 92-2216-E-019 -005 -

研究類型：一般型研究計畫(整合型) 多年期計畫 學門名稱：鋼鐵材料 流水號：92PFA2000152
 研究性質：應用研究 承辦人：阮昌榮
 應繳報告：期中精簡報告(請於計畫執行期滿二個月前, 併同下年度經費預核清單送本會, 以憑核定下年度經費)
 研究成果歸屬：國立臺灣海洋大學

行政院
 國家科學委員會
 綜合業務處(二)科