

出國報告（出國類別：開會）

鍋爐設備損壞肇因與檢測國際會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：謝運華 機械工程師

派赴國家：美國

出國期間：99年4月17日至4月26日

報告日期：99年6月21日

出國報告審核表

出國報告名稱：鍋爐設備損壞肇因與檢測之國際會議		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
謝運華	機械資深研究專員	台灣電力公司
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>國際會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：99年4月17日至99年4月26日		報告繳交日期：99年6月21日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	<input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 2 各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 3 審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人		審 核 人	單 位 主 管	主 管 處 主 管	總 經 理 副 總 經 理
-------------	--	-------------	------------------	-----------------------	-------------------------------------

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：鍋爐設備損壞肇因與檢測之國際會議

頁數 31 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

謝運華/台灣電力公司/綜合研究所/機械工程師/ (02) 8078-2211

出國類別：1考察2進修3研究4實習5其他

出國期間：99年4月17日至4月26日

出國地區：美國

報告日期：99年6月21日

分類號/目

關鍵詞：熱回收鍋爐、潛變、壽命評估、腐蝕疲勞

內容摘要：(二百至三百字)

此次出國任務為參加美國電力研究中心 (EPRI) 在Baltimore舉行之鍋爐設備損壞肇因與檢測會議。該會議內容包括：1.鍋爐材料損壞肇因分析方法與經驗、2.構件損壞預測與防止、3.構件損傷之修護與更新決策技術、4.降低材料損壞之管理策略、5.超臨界先進材料之發展與應用、6.壽命評估與非破壞檢測技術等。會中所發表之論文題目大都與損壞案例之分析方法與解決對策有關，頗具實務（用）性，另外也介紹如提升爐管耐沖蝕---等性能之表面處理技術。EPRI目前出版之兩本手冊分別為 **Field Guide1018996**—介紹電廠計劃性或非計畫性停機之檢查位置、項目、方法與**Field Guide1017471**—介紹各種損壞機制和爐管破損肇因分析案例，值得從事維護保養人員之參考。為降低電廠之破損事故率，EPRI亦正積極在推動降低鍋爐爐管損壞率之大型計畫。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

出國報告書審核表-----	1
出國報告提要-----	2
目錄-----	3
表目錄-----	4
圖目錄-----	5
第一章 前言-----	6
1.1任務之起源-----	6
1.2任務之目標-----	6
1.3行程與內容-----	7
第二章 心得報告-----	8
2.1 影響鍋爐可靠度因素與一般損壞率變化-----	9
2.2 大型鍋爐與熱回收鍋爐最常發生損壞機制排序-----	10
2.3 應變對不銹鋼誘發碳化物析出損壞案例-----	10
2.4 水牆管腐蝕疲勞之損壞案例-----	14
2.4.1 影響腐蝕疲勞之水化學參數條件-----	16
2.4.2 影響腐蝕疲勞之熱或機械应力因子-----	16
2.5 SA213T91爐管氧化因素之損壞-----	17
2.5.1 正常氧化/屬於長時間過熱引發之潛變破壞行為-----	17
2.5.2 氧化層剝落/屬於短時間過熱引發之潛變破壞行為---	17
2.5.3 運轉溫度超過爐管AC ₃ 最低溫度-----	17
2.5.4 熱處理溫度不正常-----	18
2.5.5 正常化後之氧化物清洗不正確-----	19
2.6.熱回收鍋爐之爐管壽命管理-----	19
2.7 水牆管發生圓周裂紋之熱疲勞損傷機制-----	24
2.7.1 圓周方向熱疲勞損傷機制-----	25
2.7.2 改善方法—從火側改善-----	25
2.7.3 改善方法—從爐管改善-----	26

2.7.4 改善方法—從水側改善-----	26
2.8. 9-12%Cr肥粒鐵系合金與不鏽鋼異種材料焊接之填料金屬開發-----	26
第三章 感想與建議-----	30
參考資料-----	31

表目錄

表1 歷年來大型鍋爐設備之損壞機制排序-----	10
表2 歷年來熱回收鍋爐設備之損壞機制排序-----	10
表3 ASME B&PV Code Rules 對TP347H不鏽鋼經過冷作後之熱處理施作規範	14
表4 EPRI87填料金屬之成份-----	28

圖目錄

圖1 一般設備損壞率與使用時間關係有如浴缸形狀之變化-----	9
圖2 TP321H不銹鋼之在20°C、300°C下分別以0%、10%、20%、30%應變量進行冷加工之後在600°C之高溫中進行試驗以比較其硬度變化-----	11
圖3 TP347H 爐管表面焊接有互相牽制之支撐耳，使用超過10000小時發生應變誘發碳化物析出損壞情形-----	12
圖4 Tp321H爐管經過型鍛後應變誘發碳化物析出造成損壞情形	13
圖5 利用有限元素法分析比較水牆爐管之应力分布與實際發生腐蝕疲勞損壞情形-----	15
圖6 水牆爐管之腐蝕疲勞損壞情形-----	15
圖7 腐蝕疲勞損壞機制之示意圖-----	16
圖8 破裂口位於鉚道附近，該處因具有局部高應變高與延展性	18
圖9 ERPI分別在2001、2004、2007年對熱回收鍋爐之損壞發生位置進行調查結果-----	20
圖10 ERPI分別在2001、2004、2007年對熱回收鍋爐之損壞機制進行調查結果-----	21
圖11 熱回收鍋爐高溫過熱器之氧化加強潛變損壞案例-----	22
圖12 熱回收鍋爐低溫再熱器管發生应力集中產生潛變疲勞破	22
圖13 由溫度與應力之模擬分析結果，顯示爐管與集管焊接地方是應力集中位置所在，同時運轉中熱漲冷縮產生之彎曲現象亦發生在該處-----	23
圖14集管內壁之短管發生流體加速腐蝕現象（FAC）-----	23
圖15 水牆管圓周裂紋之熱疲勞損傷現象-----	24
圖16 水牆爐管表面發生熱疲勞龜裂情形-----	25
圖17 9-12%Cr高鉻肥粒鐵系合金和不鏽鋼系列材料焊接出現無碳區情形-----	27
圖18 EPRI87填料金屬之膨脹係數與不鏽鋼材料之比較-----	28
圖19 EPRI87焊接後之高溫機械強度均比母材強度高-----	29

第一章 前言

1.1、任務之起源

本公司現有之大型鍋爐設備共有26座、複循環機組之熱回收鍋爐數量有53座，其中大型鍋爐運轉超過30年有10座、佔總數38%，超過20年有6座、佔總數23%，若以一般設計之30-35運轉年限看，可見本公司之大型鍋爐設備已邁入中、老年階段。鍋爐管件因使用在高溫、高壓及高腐蝕環境下，材料之老化勢必隨者運轉時間愈接近設計年限、愈加嚴重(快速)，根據EPRI研究報告指出，鍋爐爐管之損壞機制可分成應力破壞(過熱、高溫潛變、異種金屬焊接...)、水側腐蝕(氫破壞、鹼性腐蝕、孔蝕...)、火側腐蝕、沖蝕、疲勞、製造品質不良等六大類。

因此如何提高鍋爐之運轉安全性與可靠度，除了加強日常之維護與保養外，平日事故發生原因之有效診斷與定期執行完整性之檢測與壽命評估，是當今世界各國之共通性作法。本所多年來進行之電廠鍋爐破損肇因分析經驗與壽命評估技術，已持續服務應用於公司內、外單位，成效卓著，目前更加入發電處成立之專家諮詢系統，隨時提供意見與建議，協助電廠解決急迫性問題，因此若能持續多方吸收經驗對於減少破管頻率以及提升鍋爐可靠度有極大助益。

1.2、任務之目標

此次參加鍋爐設備損壞肇因與檢測國際會議之任務目標，主要從會議討論中獲取1.鍋爐材料損壞肇因分析方法與經驗、2.構件損壞預測與防止、3.構件損傷之修護與更新決策技術、4.降低材料損壞之管理策略、5.超臨界先進材料之發展與應用、6.壽命評估與非破壞檢測技術等。

1.3、行程與內容

日期	地點	內容
04/17~04/18	台北-巴爾的摩	行程
04/19~04/23	巴爾的摩	參加EPRI舉辦之鍋爐設備損壞肇因與檢測國際會議
04/24~04/26	巴爾的摩-台北	行程

第二章 心得報告

此次EPRI舉辦之會議其內容涵蓋甚廣，主要領域包括下列各項：

- Experiences with Boiler Tube Failures and Heat Tube Fail
- Approaches and Experience
- Boiler Tube Failure/Heat Tube Failure Mechanisms
- Failure Prediction and Prevention
- Repair and Replacement Options
 - Welding Techniques and Quality Control
 - Metallurgical Analyses
 - New Materials for Tube Replacement
 - Monitoring and Analysis
- Management Approaches to Boiler Tube Failure/Heat Tube Failure
 - Boiler Tube Failure Reduction Programs
 - Heat Tube Failures Reduction Programs
 - Cycle Chemistry Improvement Programs
 - Economic Impact Assessment Tools
- Boiler Tube Failure issues with Advanced Ferritic Alloys
- Cycle Chemistry Influences
- Cycling Units and Thermal Transients
- Startup Chemistry and Layup
- Combined Cycle/Heat Recovery Steam Generator Chemistry and Problems
- Boiler Tube Failure Reduction Best Practices
- Non-Destructive Evaluation
- Oxidation

• Advanced Materials

2.1 影響鍋爐可靠度因素與一般損壞率變化

EPRI根據世界各地之鍋爐運轉經驗，列出下列項目是影響鍋爐設備可靠度之主要因素：

1. 設計不良或錯誤
2. 材料製造品質不良
3. 建造時品質控制不好
4. 不完整運作資訊
5. 人為失誤或設備故障
6. 爐管使用溫度或應力超過設計值

因此做好平日之維護保養、修護或更換元件是達到設備可靠或安全運轉之必要途徑，一般設備損壞率與使用時間關係有如圖1所示，亦即在使用初期由於設備之設計缺失或元件製造缺陷導致在使用初期損壞率較高，隨後經過改善，整體設備仍出現random之損壞，此期間之故障率趨於穩定，後期階段因設備老舊故障損壞率增高。

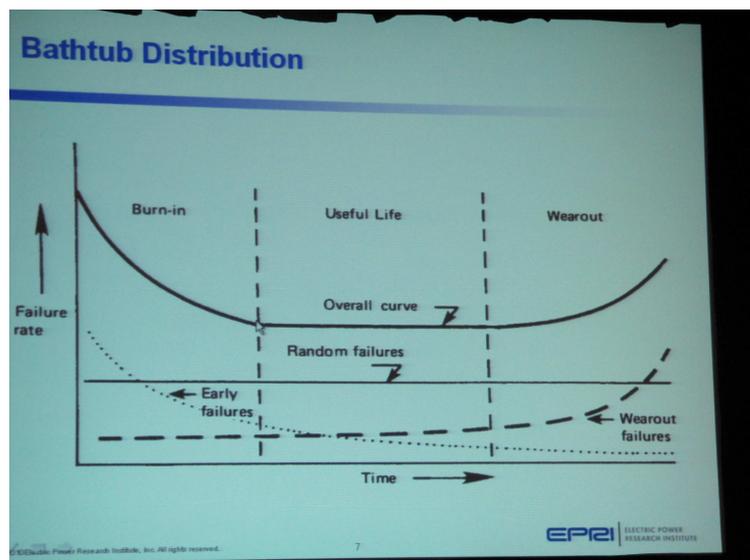


圖1 一般設備損壞率與使用時間關係有如浴缸形狀之變化

2.2 大型鍋爐與熱回收鍋爐最常發生損壞機制排序

根據調查大型鍋爐與熱回收鍋爐設備之損壞機制排序分別如表1和表所示，以2007年言，大型鍋爐最常發生損壞機制依序飛灰沖蝕→腐蝕疲勞→吹灰器沖蝕→長時間潛變破壞→氫破壞，熱回收鍋爐設備最常發生損壞機制依序為流體加速腐蝕(FAC)→熱疲勞→腐蝕疲勞→孔蝕→氫破壞。

表 1 歷年來大型鍋爐設備之損壞機制排序

BTF Mechanism	YEAR			
	2007	2004	2001	1997
Fly Ash Erosion	1	3	3	3
Corrosion Fatigue	2	1	2	2
Sootblower Erosion	3	4	5	4
Longterm Overheat/Creep	4	2	1	1
Hydrogen Damage/Under Deposit	5	5	4	6

Table 1 Historical Boiler Tube Failure Mechanisms

表 2 歷年來熱回收鍋爐設備之損壞機制排序

HRSG-TF Mechanism	YEAR		
	2006	2004	2001
FAC	1	1	3
Thermal Fatigue	2	2	2
Corrosion Fatigue	3	3	1
Pitting		4	
Hydrogen Damage		5	

Table 3 Historical HRSG Tube Failures

2.3 應變對不銹鋼誘發碳化物析出損壞案例

根據EPRI之報告顯示應變對不銹鋼誘發碳化物析出之損壞在鍋爐系

統亦是常見案例，圖2是TP321H不銹鋼在20°C、300°C下分別以0%、10%、20%、30%應變量進行冷加工之後在600°C之高溫中進行試驗，由結果發現在試驗初期由於碳化物受到應變誘發大量析出碳化物而增加硬度，此一現象又以愈低加工溫度與愈高，加工應變量愈為顯著，圖3為爐管表面焊接有互相牽制之支撐耳，使用超過 10000小時發生應變誘發碳化物析出損壞情形

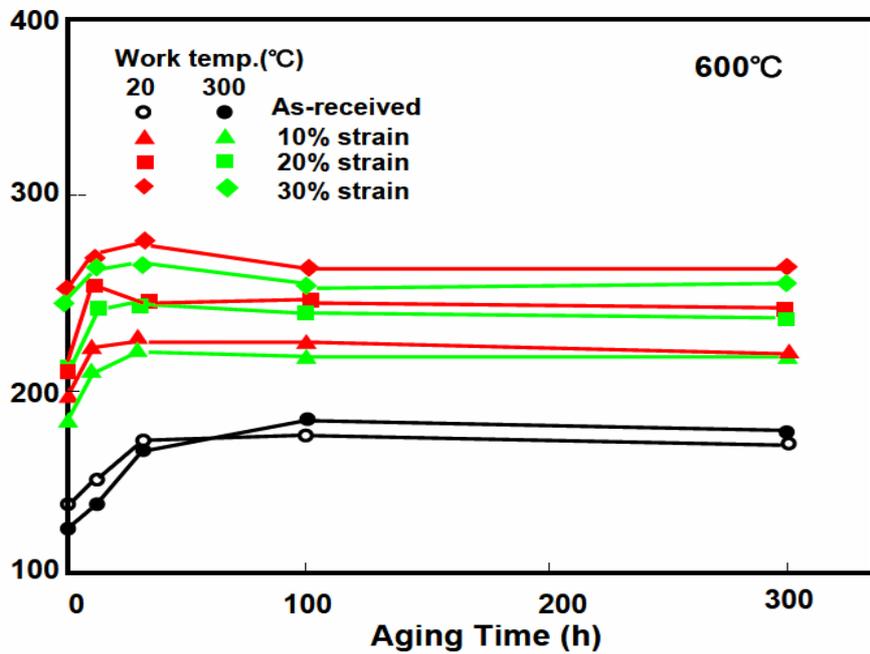


圖2 TP321H不銹鋼之在20°C、300°C下分別以0%、10%、20%、30%應變量進行冷加工之後在600°C之高溫中進行試驗以比較其硬度變化



Figure 5. Macro image (left) and micrograph (right) of a SIPH failure in a 347H tube at an as-welded support lug after ~10,000 hours of services

圖3 為TP347H 爐管表面焊接有互相牽制之支撐耳，使用超過 10000 小時發生應變誘發碳化物析出損壞情形

該損壞之管件經過分析發現：

- 1 **an intergranular failure with significant NbC.**
- 2 **near the crack exhibited hardness ~210HV (base metal was ~176HV)**

因此證實：

- 3 **strain from the welding process which was not realived by heat-treatment**

以致於：

- 4 **sucepectable to a brittle creep failure in 10,000 hours of operation**

應變誘發碳化物析出造成損壞情形亦發生在321H材料，如圖4之爐管經過型鍛產生斷裂案例，由此可知：

1. Swages SIPH damage has caused short-term failures (often in less

than 100 hours).

2. SIPH failures in swages include 321H, HR3C, and 347H.

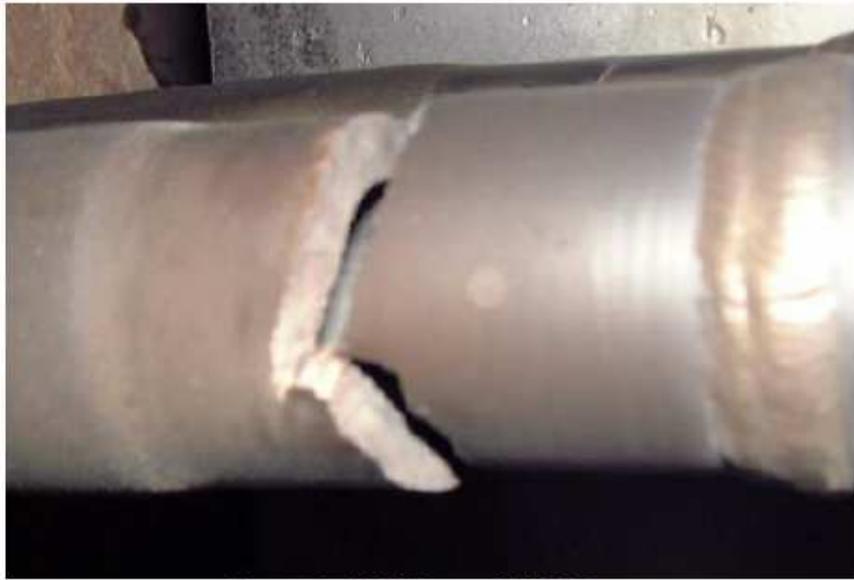


Figure 7. 321H Swage SIPH Failure

圖4 Tp321H爐管經過型鍛後應變誘發碳化物析出造成損壞情形

上述情形之改善途徑：

- 1 In-situ field heat-treatment is an option for materials in service, but field experience shows caution must be exercised or other damage may occur.
- 2 Solution annealing is the most prudent form of prevention to SIPH failures
- 3 依循ASME B&PV Code Rules for Cold-Forming of TP347H Stainless Steel (rules found in ASME B&PV Code PG-19) ，如表3

表3 ASME B&PV Code Rules 對TP347H不銹鋼經過冷作後之熱處理施作規範

Limitations in Lower-Temperature Range		Limitation in Higher-Temperature Regime		Minimum Heat-Treatment Temperature When Design Temperature and Forming Strain Limits are Exceeded	
For Design Temperatures		And Forming Strains Exceeding	For Design Temperatures Exceeding		An forming strains Exceeding
Exceeding	But less than or equal to				
540°C (1000°F)	675°C (1250°F)	15%	675°C (1250°F)	10%	1095°C (2000°F)
Note: applies to cylinders formed from plates, spherical or dished heads, and tube and pipe bends					

2.4水牆管腐蝕疲勞之損壞案例

鍋爐組件會發生腐蝕疲勞損壞地方除了擔任熱交換之水牆管或省煤器管外尚有輸送流體之降水管，而其發生位置又以吸熱較高之水側頻率最高，一旦有裂縫產生時裂縫多半起始於內壁，對於各項組件若有形狀改變地方或該構件受到鄰近配件牽制以致於產生应力限制情形如 buckstags、filler block、scallop plate corners等須特別注意發生腐蝕疲勞之可能，圖5為利用有限元素法分析比較水牆爐管之应力分布與實際發生腐蝕疲勞損壞情形，圖6為水牆爐管之腐蝕疲勞損壞之裂縫形貌，圖7為腐蝕疲勞損壞機制之示意圖，通常其破壞過程可分成下列階段：

- 1 週期性應變作用
- 2.水側管件之內壁氧化層生成及龜裂
- 3.持續負荷之大小或應變速率決定裂縫成長速率
- 4.氧化膜之電化學作用使之修補與再生

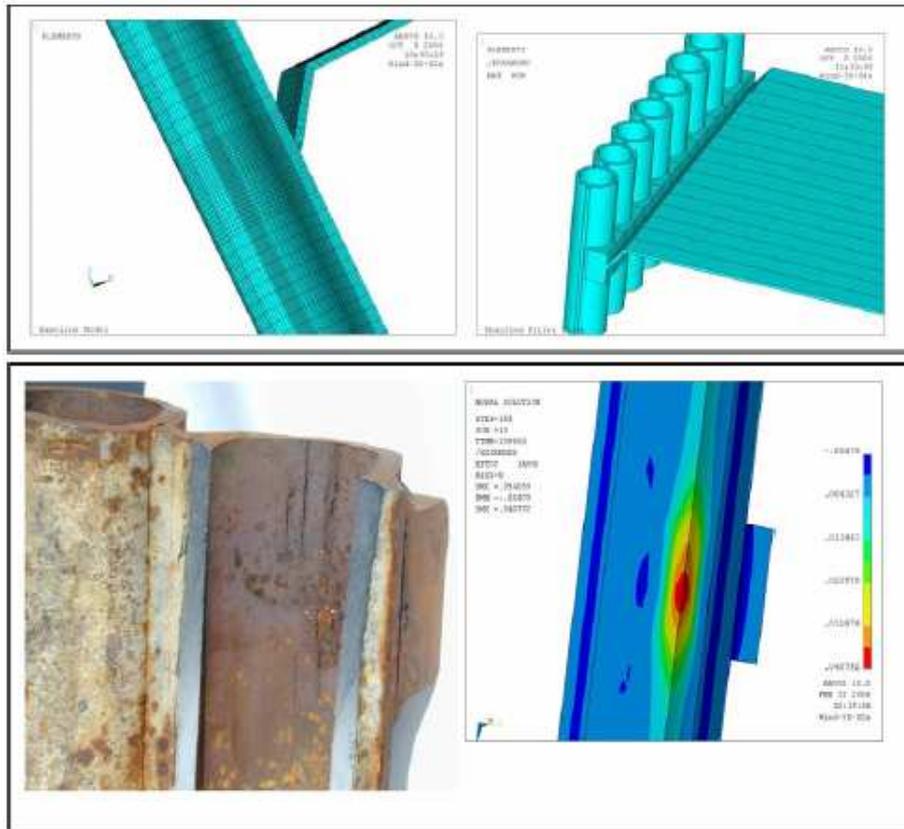


圖5為利用有限元素法分析比較水牆爐管之应力分布與實際發生腐蝕疲勞損壞情形



圖6水牆爐管之腐蝕疲勞損壞情形

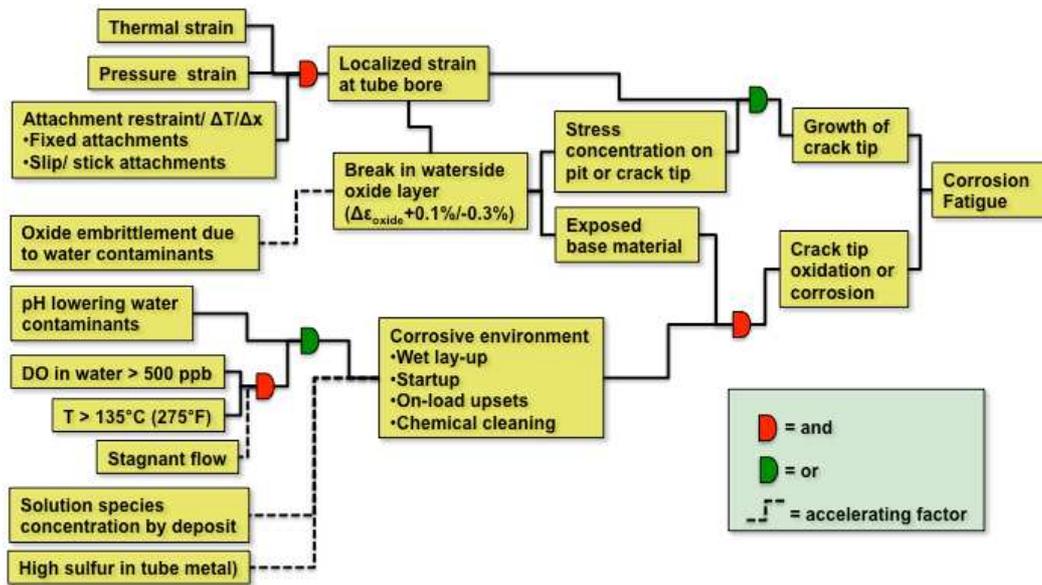


圖7腐蝕疲勞損壞機制之示意圖

2.4.1 影響腐蝕疲勞之水化學參數條件：

1 Influence of dissolved oxygen

- Water temperature above 300oF (150°C) and perhaps as high as 400oF (204°C).
- Applied strains that are high enough to mechanically disrupt the surface oxide scale.
- Dissolved oxygen in the boiler water is above 500 ppb.

2 Influence of pH

- pH in the range of 5 to 6 degraded the cycles to cracking by a factor of approximately 2 (compared to pH value of 9.)

2.4.2 影響腐蝕疲勞之熱或機械应力因子：

1 Boiler corners, at the upper or lower arches, or in the vicinity of

manway or burner openings, the adjacent wall restrains out-of-plane movement.

- 2 Fixed external structural restraints or construction features such as scallop plates or filler blocks.
- 3 Fixed external features such as the windbox casing, burner or air port casings or manway casings
- 4 Lock-up of sliding fitting type external structural restraints (e.g., buckstays and their waterwall panel attachment components)

2.5 SA213T91爐管氧化因素之損壞

2.5.1 正常氧化/屬於長時間過熱引發之潛變破壞行為

破損發生步驟與特徵：

- 1 Oxide grows according to parabolic rate constant
- 2 Metal temperature continues to rise with increased oxide thickness
- 3 Creep failures occur due to operating stress and metal temperature

2.5.2 氧化層剝落/屬於短時間過熱引發之潛變破壞行為

破損發生步驟與特徵：

- 1 Metal temperature continues to rise with increased oxide thickness
- 2 Oxide exfoliates and partially or completely plug tubing (during startup or shutdown)
- 3 Metal temperature rises until internal stress exceeds yield strength of material
- 4 High ductility fish-mouth failure occurs with thin fracture lips

2.5.3 運轉溫度超過爐管AC₃最低溫度

破損發生步驟與特徵：

- 1 Metal temperature rises due to blocked steam flow, plugged gas path or other reason.
- 2 Metal temperature exceeds lower transformation temperature (800°C)
- 3 Yield, tensile, and creep strength is reduced
- 4 Failure occurs

High ductility failure occurs resembling short term overheat

Low ductility failure occurs resembling long term overheat

2.5.4 熱處理溫度不正常

破損發生步驟與特徵：

- 1 Tubing is heated above lower transformation temperature (800°C) during manufacture or erection.
- 2 Microstructure and strengthening precipitates are damaged
- 3 Creep, yield, and tensile strength are reduced
- 4 Failure resembles short or long term overheat

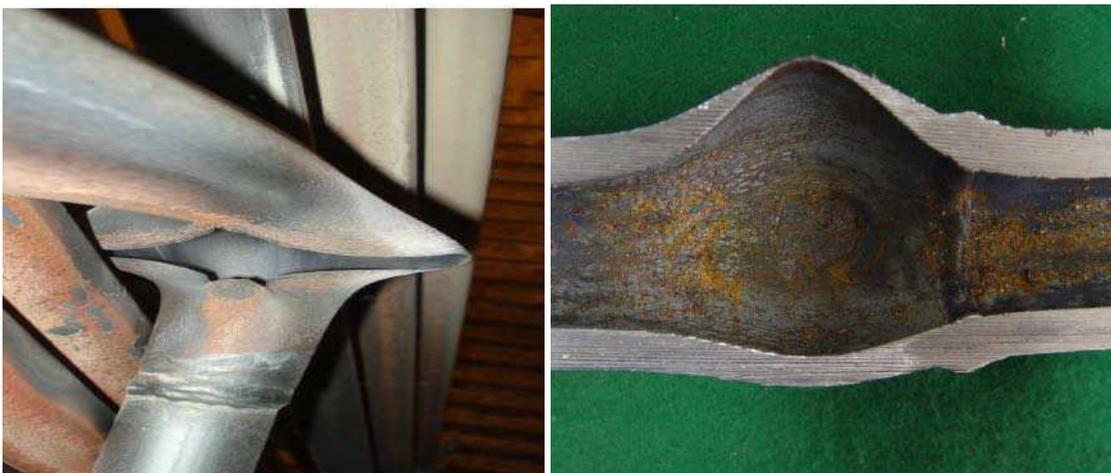


圖8 破裂口位於銲道附近，該處因具有局部高應變高與延展性

2.5.5 正常化後之氧化物清洗不正確

破損發生步驟與特徵：

- 1 Tubing contains thick scale from normalization or shop heat treatment
- 2 Metal temperature is elevated due to insulation value of scale
- 3 Scale transforms to oxide during operation
- 4 Exfoliation may occur rapidly increasing metal temperature
- 5 Either of the following occur
 - Tubing fails rapidly with high ductility
 - Tubing fails by creep in less than design life

2.6.熱回收鍋爐之爐管壽命管理

複循環機組之熱回收鍋爐具有高起停頻率之特性且其蒸發爐管、省煤器管與過熱器管具有多段不同壓力之設計，因此與傳統大型鍋爐在結構與運轉方式上有很大不同，根據調查，熱回收鍋爐管件之老化損壞造成機組可靠度之損失已逐年在增加中，為避免爐管之損壞持續增加，因此有必要對各種破壞機制加以瞭解，圖9 ERPI分別在2001、2004、2007年對熱回收鍋爐之損壞發生位置進行調查結果，以2007年為例 低壓蒸發器管（LP evaporator）之損壞比率是所有管件中最高，其次是高壓過熱器管（HP superheater），圖10 ERPI分別在2001、2004、2007年對熱回收鍋爐之損壞機制進行調查結果，以2007年為例，所有損壞機制中以流體加速腐蝕（FAC）最多，其次是熱疲勞（thermal fatigue）。圖11～圖14分別為高溫過熱器之氧化加強潛變損壞案例、

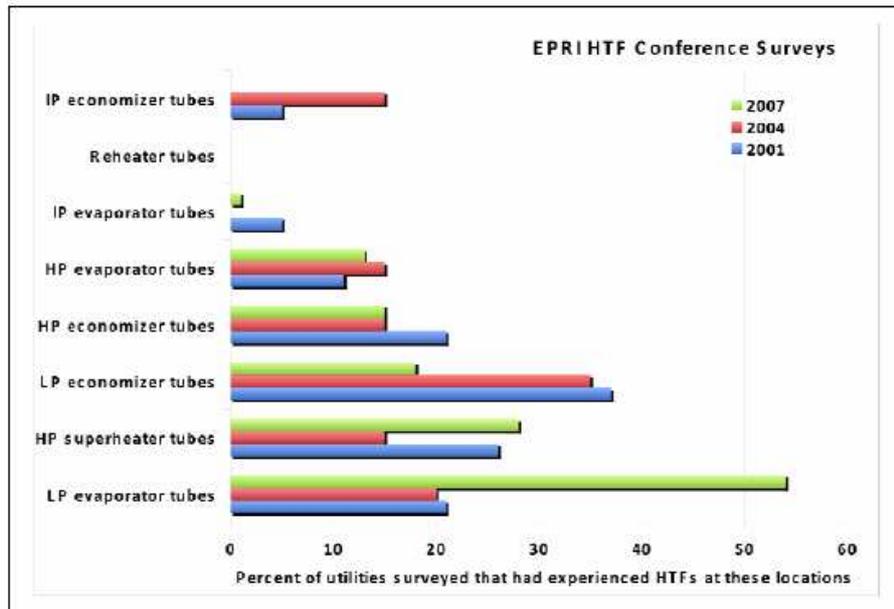


Figure 1
Locations Where HTFs Have Been Reported by Participants at EPRI's 2001, 2004, and 2007 HTF Conferences.

圖9 ERPI分別在2001、2004、2007年對熱回收鍋爐之損壞發生位置進行調查結果

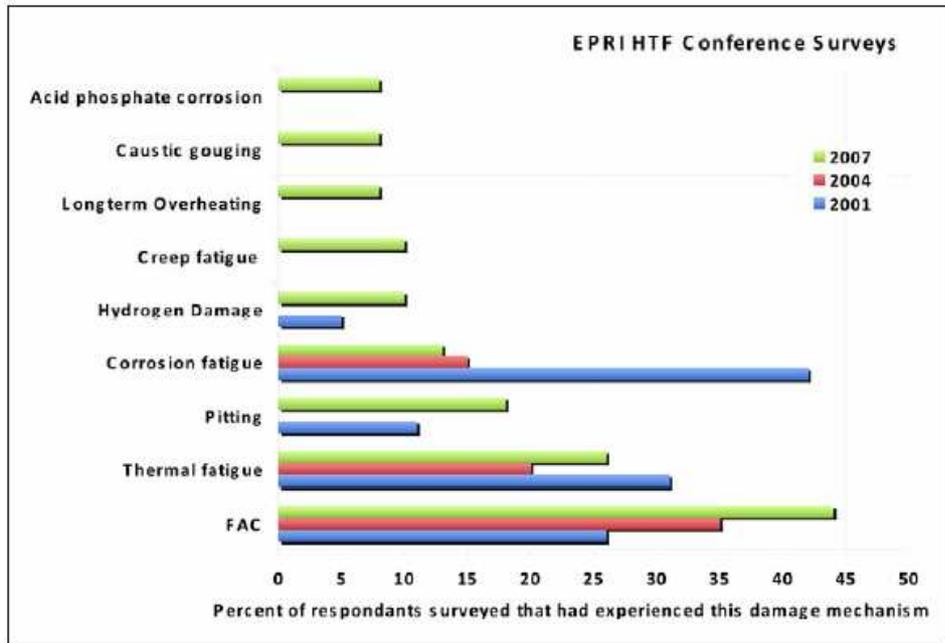


Figure 2
HTF Damage Mechanisms Reported by Participants at EPRI's in 2001, 2004 and 2007 HTF Conferences.

圖10 ERPI分別在2001、2004、2007年對熱回收鍋爐之損壞機制進行調查結果

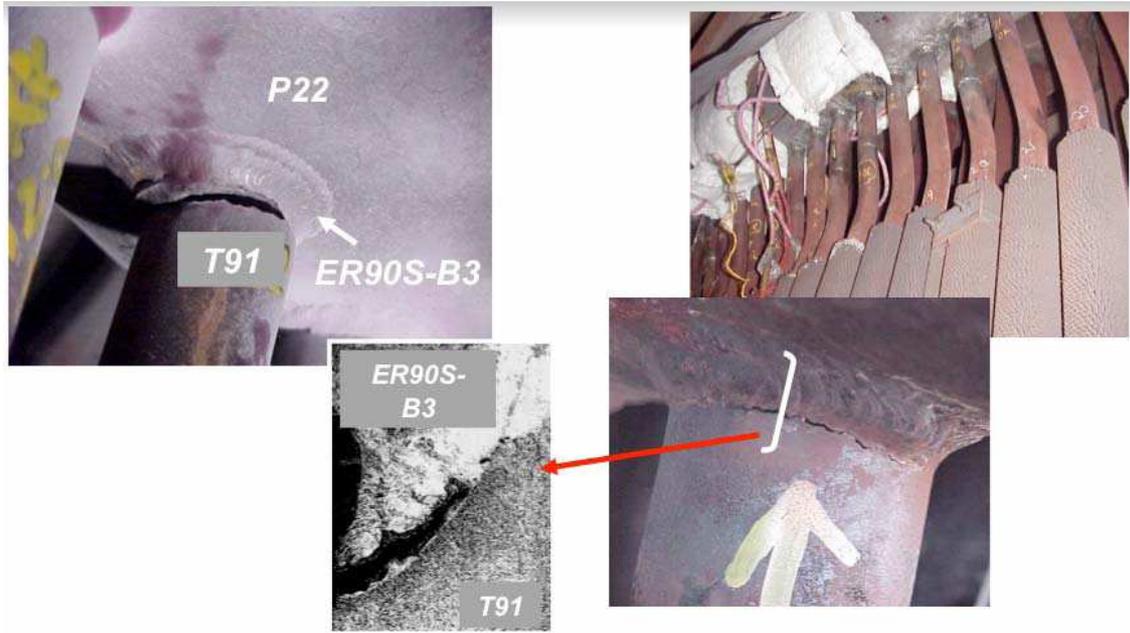


圖11 高溫過熱器之氧化加強潛變損壞案例

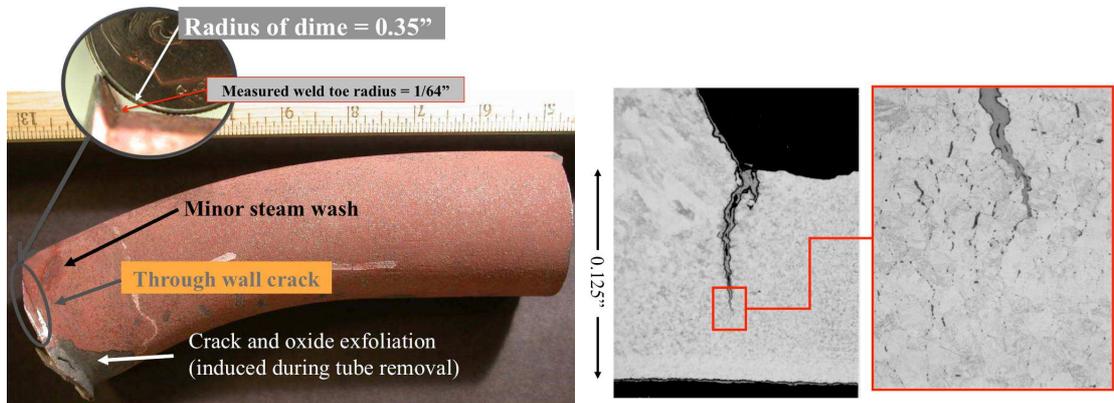


圖12 低溫再熱器管發生应力集中產生潛變疲勞破壞

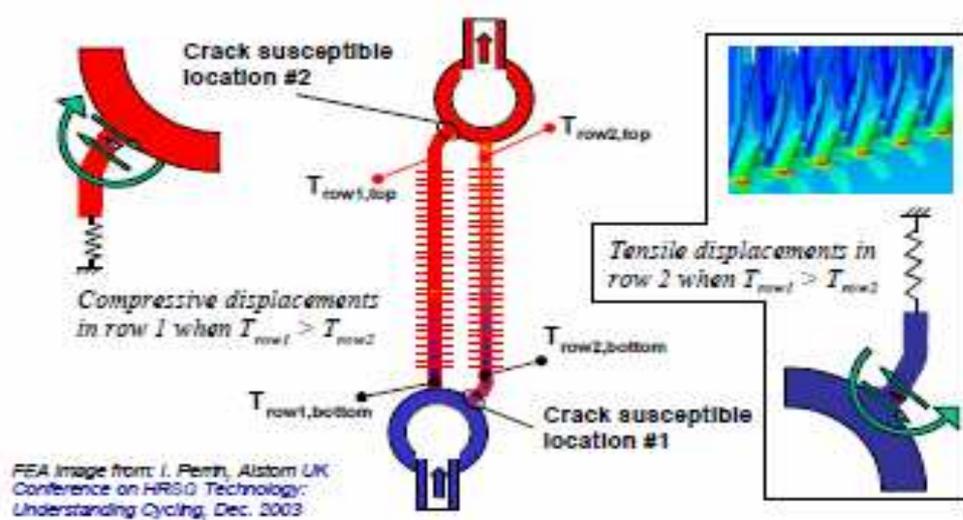


圖13 由溫度與應力之模擬分析結果，顯示爐管與集管焊接地方是應力集中位置所在，同時運轉中熱漲冷縮產生之彎曲現象亦發生在該處

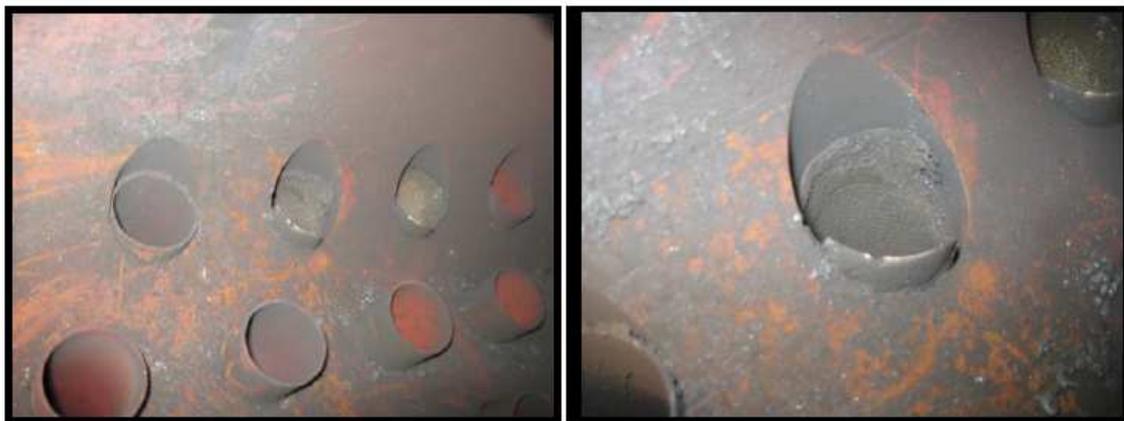


圖14 集管內壁之短管發生流體加速腐蝕現象 (FAC)

發生流體加速腐蝕（FAC）原因與改善方法：

- 1 A turbulent flow condition that caused dissolution of the iron oxide layer
- 2 Inadequate cycle chemistry due to limited blow down capability
- 3 Operating temperatures between 140° F and 450° F in the economizer
- 4 Base materials with Chromium content less than 1% which is more susceptible to FAC, and
- 5 To a lesser degree, the original design of the economizer included tube stubs that projected approximately two inches inside the header

2.7水牆管發生圓周裂紋之熱疲勞損傷機制

水牆管圓周裂紋之熱疲勞損傷現象（如圖15）除了發生在次臨界燃煤鍋爐外，超臨界燃煤鍋爐亦會發生，通常裂紋均起始於爐管外壁表面且都屬多條平行之V型裂紋，隨著溫度變動程度不同其裂紋間之間距會隨之改變。

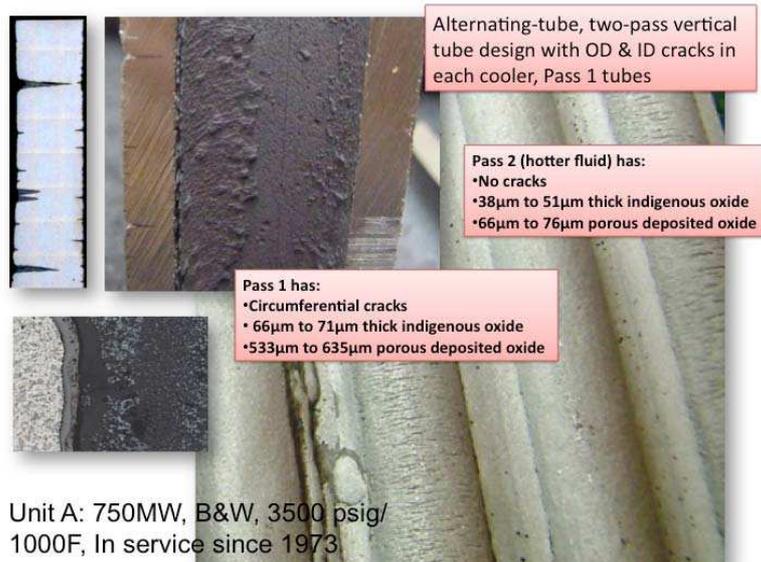


圖15 水牆管圓周裂紋之熱疲勞損傷現象



圖16 水牆爐管表面發生熱疲勞龜裂情形

2.7.1 圓周方向熱疲勞損傷機制

- 1 Oxidation enhanced thermal fatigue
- 2 Ash or sulfidation enhanced thermal fatigue.
- 3 Creep-fatigue
- 4 cyclic stress and temperature .

2.7.2 改善方法—從火側改善

- 1 Altered coal characteristics----Coal blending to increase the heat release rate, and reduce the ash burden, ash slagging potential, or gas temperature distributions
- 2 reduce the heat input
- 3 Use coal with increased viscosity vs. temperature
- 4 Optimize the performance of the coal pulverizers

- 5 Optimize the shape of the flame pattern by adjusting or reshaping the burner and air port vanes
- 6 Reduce the peak flame temperature and incident heat flux

2.7.3 改善方法—從爐管改善

- 1 Apply thin ceramic coatings
- 2 Use higher strength alloy with thinner wall thickness
- 3 Use engineered weld overlays
- 4 Candidate coatings--chromized coatings , Inconel alloys
- 5 Use internally ribbed tubes
- 6 Alter the tube diameters to locally change the tube heat absorption rate or fluid side heat transfer coefficient

2.7.4 改善方法—從水側改善

- 1 increase the fluid heat transfer coefficient
- 2 monitor the deposit thickness and chemically clean
- 3 evaluate the consequences of altered fluid mass flux.
- 4 an adequate flow rate distribution.

2.8 9-12%Cr肥粒鐵系合金與不鏽鋼異種材料焊接之填料金屬開發

一般異種材料焊接龜裂原因：

- ◆ Thermal stresses caused by differenced in coefficient of thermal expansion
- ◆ Carbon denuded zones caused by carbon migration from low alloy base metals to higher alloyed filler metals

其中第二項係指當高鉻肥粒鐵系合金與不鏽鋼焊接時，高鉻肥粒鐵系之碳含量會發生嚴重流失，而在銲道邊界之肥粒鐵系合金側出現無碳區，

故該地方之硬度偏低。

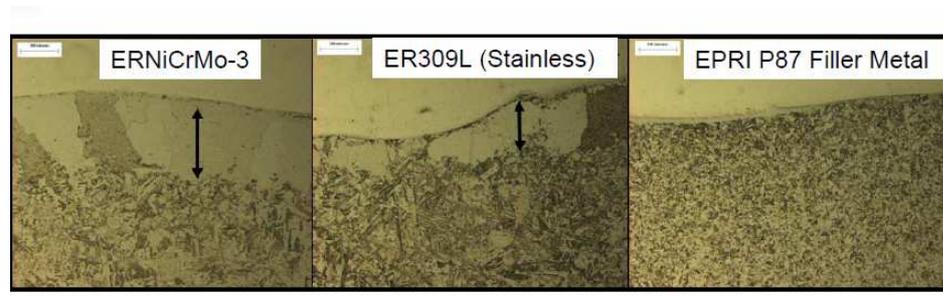


圖17 9-12%Cr高鉻肥粒鐵系合金和不鏽鋼系列材料焊接出現無碳區情形

EPRI為改善膨脹係數差異過大而導致熱應力損壞現象，以及解決銲道邊界之無碳區問題，最新發展出EPRI87之填料金屬已被成功應用於實際焊接作業，該金屬成份如表3，圖18為金屬之膨脹係數與不鏽鋼材料之比較，經過試驗如圖17顯示銲道邊界之無碳區已完全獲得改善，EPRI87焊接後之高溫機械強度亦都比母材強度高（圖19），因此可證EPRI87填料金屬之：

■ Weldability

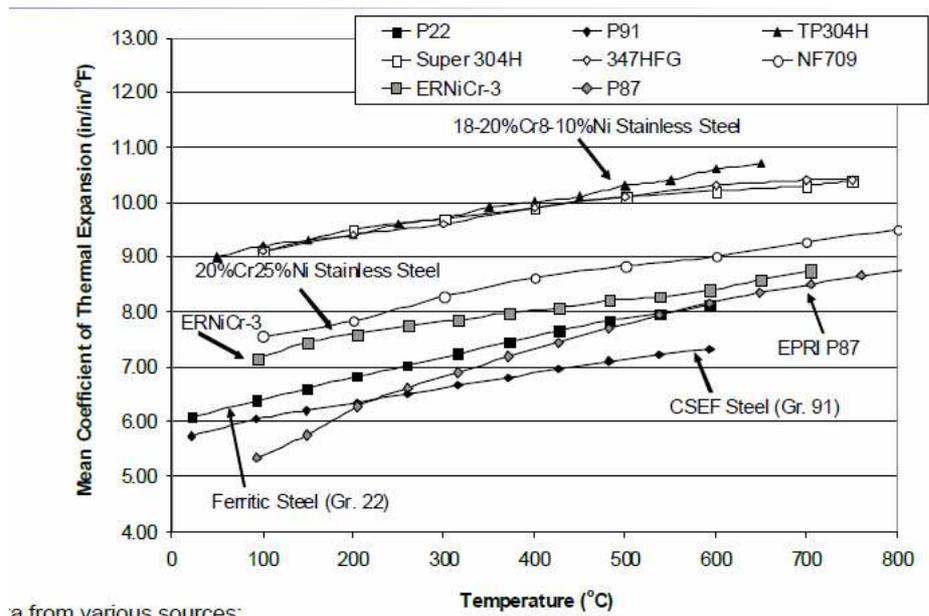
- Microfissuring was not observed in any welds
- Weldability appears equivalent to ERNiCr-3

■ High-temperature mechanical testing

- Tensile, Creep-rupture strength, and ductility of EPRI P87 wire is more than sufficient for DMW application where creep strength in excess of Gr. 91 base metal

表3 EPRI87填料金屬之成份

EPRI P87	Al	B	C	Cr	Fe	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	S	Si	Ti
Spec.	0.10 -	0.0005 -	0.09 -	8.5 -	38 -	1.2 -	1.8 -	0.02 max	0.9 -	54 max	0.010	0.010	0.05 -	0.05
Target	0.15	0.0012	0.11	9	40	1.5	2		1.2	Bal.		0.003	0.15	0.10
Solid Wire	0.16	0.0010	0.11	8.92	40.98	1.45	2.05	0.003	1.26	44.8	<0.005	0.001	0.14	0.11



a from various sources:

圖18 EPRI87填料金屬之膨脹係數與不鏽鋼材料之比較

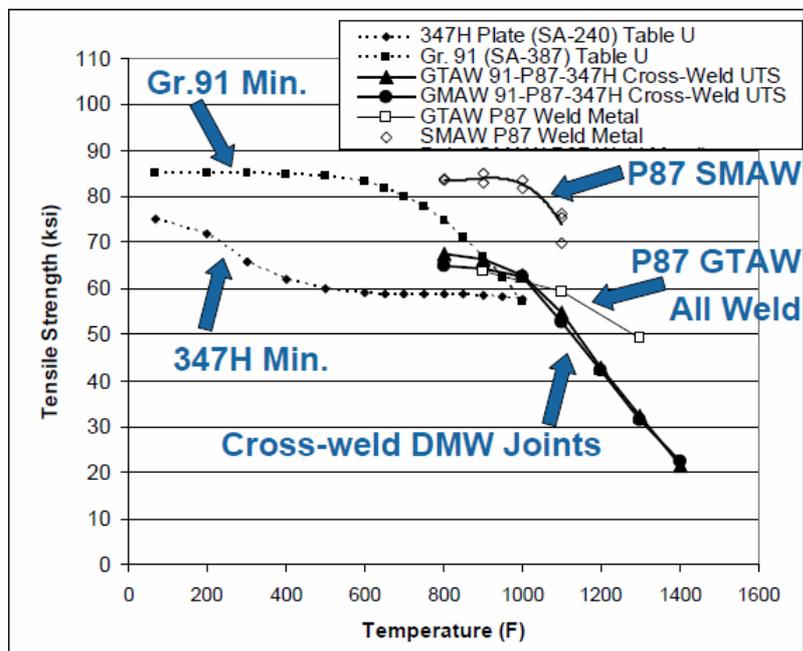


圖19 EPRI87焊接後之高溫機械強度均比母材強度高

第三章 感想與建議

- 1.此次EPRI舉辦每3年一次之鍋爐破損分析會議，參與之單位有設備製造廠家、研究機構，學術單位等，由於發表之論文內容深具實務（用）性，因此對於提升今後從事電廠破損分工作幫助極大。
- 2.EPRI特別介紹兩本手冊分別為**Field Guide 1018996**（介紹電廠計劃性或非計畫性停機檢查之位置、項目、方法），**Field Guide 1017471**（介紹各種損壞機制和爐管破損肇因分析案例），值得從事電廠維護保養人員參考。
- 3.根據與會之複雜性較高破管案例介紹顯示，保留損壞發生第一時間時之現場環境相當重要，同時如有必要裝置附屬之監測設施，例如裝設熱電耦與應變計等量測運轉中之溫度變化與應變量，是驗證應力誘發碳化物析出致使發生脆性破壞之有力證據。
- 4.一份破損分析報告之內容能否提出事故發生之最上游（根本）解決對策，有賴從事破損分析人員，對分析過程之嚴謹要求以及對於系統或環境之了解，因此建議破損分析人員應深入熟悉電廠環境與運轉背景參數。
- 5.鍋爐因結構複雜、環境參數多種，破管發生肇因除了使用材料自然老化外尚有設計盲點、製造缺陷、水質、運轉、燃燒、煤質(結渣)甚至於酸檢洗不當----等因素，因此相關人員之教育訓練以及規劃完善之非破壞檢測（檢測位置、數量規劃與檢測品質）是有效降低破管率之一環。

參考資料

1. EPRI, Boiler Tube & Heat Recovery Steam Generator Tube Failures and Inspections Conference, , Baltimore, April 19, 2010.
2. D. Gandy and K. Coleman. “Alternative Filler Materials for DMWs Involving P91 Materials,” *Proceedings to the EPRI Fifth International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants (Marco Island, FL, Oct. 3-5, 2007)*