

台電工程月刊 783 期 (11 月號) 目錄

發電設備材料保固評估與檢測技術 專輯

雷射粉末堆積製程之葉片銲補技術應用.....	陳 鈞 等	(1)
硬銲技術在渦輪機組件之修補應用	薛人愷 等	(10)
精密三次元測繪及葉形參數建模之應用.....	鐘震洲 等	(18)
核一廠 LP 轉子第 9 級葉片根部超音波檢測	張瓊云 等	(25)
提升汽機轉軸軸孔檢測技術	蔡武哲 等	(36)
柴油發電機齒輪破損分析	李日輝 等	(45)
超臨界鍋爐材料異種金屬銲接.....	謝運華 等	(60)
鍋爐爐膛水牆管大面積檢測分析	蘇逸彥 等	(74)
壓水式蒸汽產生器管理方案.....	李紹喜 等	(86)
火力電廠熱回收鍋爐材料壽命評估	高全盛 等	(108)

雷射粉末堆積製程之葉片鐸補技術應用

Laser Powder Deposition Technique for Blade Repair Applications

陳 鈞*
Chen, Chun

吳憲政**
Wu, Hsien-Cheng

摘 要

雷射粉末堆積製程為雷射材料加工之重要應用之一，其主要特色為短時間在高能量密度之雷射光束作用下，局部熔融添加的合金粉末與基材表面，使工件之變形量降至最低程度。此製程藉由層加工之雷射披覆技術，依照規劃路徑，可製造三維之鐸接式金屬件。雷射粉末堆積製程整合了多軸 CNC 機台、電腦輔助設計與製作、感測元件、雷射同軸之粉末輸送系統與雷射光源於一體。此製程適用於各式葉片的維修工作，特別是對熱敏感的材料鐸補及成形。本文闡述台灣電力公司與台灣大學在過去二十年來，進行損傷葉片雷射鐸補的研發成果，並針對汽機或氣渦輪機之受損葉片，例如 17-4PH、403 和 422 不銹鋼與 IN-738 鎳基合金等之鐸補過程與鐸接性，做一較深入說明與討論。

關鍵詞(Key Words)：雷射粉末堆積製程(Laser Powder Deposition Process)、雷射披覆(Laser Cladding)、鐸補(Repair Welding)、鐸接性(Weldability)、葉片(Turbine Blade)、不銹鋼(Stainless Steels)、鎳基合金(Nickel-Base Alloys)。

*台灣大學材料科學與工程學系暨研究所

** 台灣電力公司綜合研究所

硬銲技術在渦輪機組件之修補應用

The Application of Brazing Technology in Repairing Turbine Assembly

薛人愷*
Shiue, Ren-Kae

吳憲政**
Wu, Hsien-Cheng

吳政淵*
Wu, Cheng-Yuan

摘要

鎳基超合金 Inconel 738 或 Inconel 939 因兼具高溫強度及抗高溫腐蝕能力,故大量應用於火力電廠氣渦輪機組第一級動葉片或靜葉片的主要材料。由於葉片複雜、造價昂貴,經過長時間(例如:25,000 小時以上)運轉後,表面易產生高溫氧化、腐蝕等損傷。通常使用銲接或硬銲技術加以修補,以增加其使用壽命。銲接修補技術適用於較深的孔隙及受應力較大的區域。然而大多數的鎳(或鈷)基超合金,由於銲後易發生熱影響區液態龜裂或銲道熱裂,故不易銲補。相對而言,使用真空硬銲製程修補渦輪葉片上大面積的淺層裂紋,為另一種經濟可行的方式。故上述二種修補技術具有互補之功能。本研究針對 IN-738 超合金進行真空硬銲修補。實驗中針對硬銲修補試片之界面進行微觀顯微組織觀察、結構分析等,並針對這種超合金之真空硬銲修補製程,進行製程變數最佳化之實驗,期望發展出使用真空硬銲製程修補超合金之技術。

關鍵詞(Key Words)：真空硬銲修補(Vacuum Repair Brazing)、鎳基超合金(Ni-Based Superalloy)、鎳基填料(Ni-based Filler)、顯微組織(Microstructure)、孔隙(Porosity)。

*國立台灣大學材料科學與工程學系暨研究所

**台灣電力公司綜合研究所

精密三次元測繪及葉形參數建模之應用

The Application of Precision 3D Measurement / Drawing and Parametric Modeling
of Blade Geometry

鐘震洲*
Chung, Chen-Chou

邱熾真**
Chiu, Yen-Chen

黃聖馨**
Huang, Sheng-Hsin

吳憲政*
Wu, Hsien-Cheng

王敬堯*
Wang, Ching-Yao

李日輝*
Li, Jih-Hui

摘 要

本文討論針對適用於火力電廠熱段組件再生之精密三次元測繪及相關參數化軟硬體之整合應用。透過高精度三次元量床(CMM)從事小型工件(譬如葉片)之自動化、高精度要求的精密量測工作；使用關節手臂型量測設備、雷射追蹤定位儀、光學定位量測系統可針對大型工件進行空間定位與尺寸量測；而光柵式光學掃描設備則適合應用於非深凹形工件之全表面點雲資料擷取工作。在軟體方面，應用 Rapidform XOR、Solidworks 等商業繪圖軟體進行渦輪機葉片形狀之參數化建模，並以 Rapidform XOY 軟體進行幾何模型與掃描圖檔之誤差比對，完成葉片模型後可以透過 AxSTREAM 軟體進行渦輪機效率分析及葉形優化設計。

關鍵詞 (Key Words)：逆向建模(Rreverse Modeling)、參數建模(Parametric Modeling)、三次元量床(Coordinate Measuring Machine, CMM)、累加誤差(Accumulated Errors)、葉形(Blade Geometry)、最佳化設計(Optimize Design)。

*台灣電力公司綜合研究所

**大菱鋼鐵股份有限公司

核一廠 LP 轉子第 9 級葉片根部超音波檢測

Developing the Inspection Technique for #9th Stage of LP Rotor's Blade Root Cracking in
Chin-Shan Nuclear Power Station

張瓊云*
Zhang, Qiong-Yun

蔡武哲*
Tsai, Wu - Che

魏健能*
Wei, Chieng - Neng

蘇詠舜*
Su, Yong - Shun

摘 要

核一廠大修中發現低壓汽機轉子#9R 葉片頂端覆環異常錯位，由於葉片根部組合在轉子基座之葉片溝槽內，無外露表面可供磁粒檢測(MT)，葉片拆卸後發現根部有裂痕。因此，本公司著手研究能在葉片未拆卸狀況下進行檢測之技術開發。

本研究是從葉片根部破損肇因與收集以往檢測經驗著手，確立了檢測方式，另外尋找現場實物葉片模擬檢測，擬定了陣列式超音波檢測技術(PAUT)應用。同時為確實掌握檢測的可靠性，製作葉片根部人工瑕疵試塊(Mock-up)，選用既有合適硬體及配件，經由實驗室一系列的測試模擬，並在電廠驗證可行。進而能以 PAUT 檢出葉片根部起始瑕疵，免去原廠(OEM)僅有覆環錯位小於 2mm 以下之主觀判定標準況。

關鍵詞(Key Words)：低壓汽機轉子葉片(LP Steam Turbine Rotor Blade)、覆環錯位(Shroud Offset)、葉片根部裂痕(Blade Root Cracking)、陣列式超音波檢測技術(Phase Array Ultrasonic Testing)。

提升汽機轉軸軸孔檢測技術

Upgrading Inspection Technique on bore of Turbine Rotor

蔡武哲*
Tsai, Wu-Che

林炳宏*
Lin, Bing-Hong

蘇逸彥*
Su, Yi-Yen

郭明得*
Kuo, Ming-Der

摘要

早年受鍛造技術所限，汽機轉軸鍛造後其軸心附近容易殘留夾渣，成為日後運轉可能產生裂痕、破損的主因。因此必須將軸心夾渣不純物鑽除，搪修成一軸孔，並且由軸孔表面至表面下 100 mm 深的範圍都必須執行非破壞檢測。然而液滲檢測(PT)、磁粒檢測(MT)僅能檢測表面及次表面瑕疵，惟有使用超音波自動檢測掃描是可行且有效的檢測方法。本公司為維護運轉安全及提供可靠電力，自民國 70 年左右即聘請國外廠家執行軸孔目視檢測(VT)及 MT 等非破壞檢測，在經濟效益考量下，本處於民國 78 年自行引進轉軸軸孔超音波檢測系統，迄今檢測核能、火力汽機轉軸共 75 支，節省外匯並排除原廠檢測之主觀評估，可自主監測轉軸運轉安全，發揮最大效益。原有的檢測設備目前已不符合現場使用，需建置新型軸孔檢測系統，以確保機組順利並及時完成壽命評估檢測。運用超音波(UT)及陣列式渦電流(ECA)檢測技術，增設原設備缺乏之轉軸軸孔表面周向瑕疵檢出能力，可以提高檢測效率及分析能力。

關鍵詞(Keywords)：汽機轉軸軸孔檢測 (Steam Turbine Rotor' s Bore Inspection System)、超音波檢測(Ultrasonic Testing, UT)、渦電流檢測(Eddy Current Testing, ET)、陣列式渦電流(Eddy Current Array, ECA)。

柴油發電機齒輪破損分析

Fracture Analysis of the Gears of a Diesel Generator

李日輝*
Li, Jih-Hui

吳憲政*
Wu, Hsien-Cheng

王敬堯*
Wang, Jing-Yao

鐘震洲*
Chung, Chen-Chou

(101 年度技術服務案)

摘 要

本公司部份電廠以柴油發電機為主設備，89 年起 A 廠有 4 部採用 Mirrlees Blackstone 引擎的柴油發電機陸續商轉。93~96 年間其中 3 部機相繼發現耦合法蘭及固定螺栓發生破裂。

A 廠四號機雖於 97 年 1 月將傳動齒輪組耦合法蘭固定螺栓改為新設計型式，仍於 101 年 3 月檢查出齒牙斷裂情形。本文以成分分析、破斷面觀察、機械性質測試、金相組織及硬度分析為主要分析方法，參考材料文獻，提供肇因分析及改善建議如下：

1. 齒輪材料成份符合 AISI 4145H 規範。曲柄軸齒輪與 A 側齒輪的強度都低於 ASM 手冊的標準。
2. 破裂起點在曲柄軸齒輪#20 齒牙，破裂源起的主因，為運轉中突然的扭轉力或大的應力。
3. 曲柄軸齒輪鄰近表面擴散層的底材硬度未達標準，氮化層金相及硬度顯示其氮化處理結果比較差。
4. 磁彈性法較可能在近期內及定檢之有限空間下執行檢測。

關鍵詞(Key Words)：曲柄軸齒輪(Crank Shaft Gear)、氮化處理(Nitriding Treatment)、破斷面觀察(Fracture Surface Observation)、金相組織(Microstructure Observation)、硬度分析(Hardness Analysis)、磁彈性分析法(Barkhausen Noise Analysis)。

超臨界鍋爐材料異種金屬銲接

Dissimilar Welding of Creep-resistant Steel for Supercritical Boiler

謝運華*
Hsieh, Yun-Hua

吳政衛*
Wu, Chen-Wei

王楚鈞**
Wang, Chu-Chun

蔡履文**
Tsay, Leu-Wen

(101~102 年度研究計畫論文)

摘要

本研究針對傳統燃煤電廠常使用之 T91、T22、T92 管材，進行異種金屬銲接研究，實驗以多重氬銲銲接製程，搭配兩種不同的銲接填料進行銲接，而為了匹配 T22 管材之機械性能，銲接填料除選用典型之 2.25Cr-Mo (T22)鋼填料外，還選用 2.25Cr-W (T23)填料，並同時比較兩種填料所造成之性能差異。研究並探討以 T92 管材取代 T91 管材之可行性，並評估此異種銲件之銲接性以及機械性能，做為未來大量採用 T92 管材前之使用經驗並評估其可行性。實驗結果顯示經由適當預熱及銲後持溫處理均能免於銲件產生裂縫。T91、T92、T23 管材經銲後熱處理後，均在熱影響區產生軟化區，常溫拉伸試驗結果顯示此三種同質或異質銲件均易在此區域引發斷裂。

關鍵詞(Key Words)：超臨界鍋爐(Supercritical Bolier)、SA-213 T91、SA-213 T22、銲接性(Weldability)、爐管(Tube)。

*台灣電力公司綜合研究所

**國立臺灣海洋大學

鍋爐爐膛水牆管大面積檢測分析

Applying LFET Scan to Water Wall Tubes of Boiler in Screening Inspection and Analysis

蘇逸彥*
Su, Yi-Yen

張瓊云*
Zhang, Qiong-Yun

蔡武哲*
Tsai, Wu-Che

魏健能*
Wei, Chieng-Neng

摘要

本項研究是藉由出國研習檢測技術以及參加 EPRI 國際鍋爐破損檢測評估研討會議，蒐集與比對相關檢測資料，建置低頻電磁檢測(LFET)系統。同時搜集公司內各式火力電廠鍋爐水牆樣管，製作具有人工瑕疵校正標準管，來模擬現場檢測狀況。針對不同破壞機構之爐管材料減損程度、孔蝕、裂痕等人工瑕疵，進行測試比對，分析檢測結果之可靠性。再透過訓練研討與自行模擬測試，使檢測人員熟悉儀器系統操作及建立訊號評估能力。為確認檢測成效，我們在規劃檢測實務方面，分別針對燃煤、燃油汽力鍋爐，以及燃氣廢熱鍋爐等不同鍋爐爐管進行大修現場實測驗證，在掃描器不需與爐管金屬表面完全接觸下，可對爐管做大面積快速掃描檢測，節省爐管表面研磨處理所花費的人力與時間，達成鍋爐大面積檢測分析之應用研究目標。

關鍵詞(Key Words)：非破壞檢測(Non-Destructive Testing)、鍋爐水牆管(Water Wall Tube of Boiler)、低頻電磁檢測技術(Low Frequency Electromagnetic Technique, LFET)、人工瑕疵(Artificial Flaws)。

*台灣電力公司電力修護處

壓水式蒸汽產生器管理方案

PWR Steam Generator Management Program

李紹喜*
Lee, Sou-See

陳勝雄*
Chen, Sheng-Shiong

(99~101 年度研究計畫論文)

摘要

壓水式核能電廠蒸汽產生器熱交換管是反應器冷卻壓力邊界整體的一部分，亦能隔離輻射產物從一次側至二次側再到環境。在 1970 年代發展至 2006 年所要求使用檢測及修復 SG 管的技術規範有其時效性，從運轉的經驗顯示 2006 年前使用的技術規範，可能無法確保 SG 管的整體性。其次美國機械工程師協會之技術規範(ASME CODE Section XI)沒有規範如何使用各種檢測方法，以檢測在熱交換管不同位置的特定劣化機制說明或如何選用特定檢測方法達成特別的目標。美國原子能總署(以下簡稱 US-NRC)於 2006 年頒佈了通函 GL 2006-1：蒸汽產生器熱交換管完整性與相關運轉技術規範，要求電廠執行以美國核能工程協會(以下簡稱 NEI) 訂立之 NEI 97-06：蒸汽產生器計畫導則(Steam Generator Program Guidelines)為基礎的 TSTF-449 Rev. 4 修訂版運轉規範，以滿足熱交換管運轉準則與確保熱交換管之完整性。NEI 97-06 包含了二次側的預防、非破壞檢測(NDT)、評估和修復與洩漏監測措施，並要求須符合美國電力研究所(以下簡稱 EPRI)導則，它是以經驗為基礎且可行的技術來訂定的規定。美國 EPRI SGMP 相關工作導則如下：壓水式核能電廠蒸汽產生器檢測導則、壓水式核能電廠一次側至二次側洩漏導則、壓水式核能電廠二次側水質導則、壓水式核能電廠一次側水質導則、蒸汽產生器完整性評估導則與蒸汽產生器管內壓力測試導則。期望同仁或有興趣大眾方便了解最新壓水式蒸汽產生器管理方案的重要要求與工作重點，摘要論述本文，期拋磚引玉以此為案例，針對『發電設備材料保固評估與非破壞檢測技術』專題，提供不同的作法與思維供參考，共同做好運轉管理確保電廠安全運轉。

關鍵詞(Key Words)：劣化評估(Degradation Assessment, DA)、狀況追蹤(Condition Monitoring, CM)、運轉評估(Operational Assessment, OA)、非破壞檢測(Non Destructive Test, NDT)。

*台灣電力公司核能發電處非破壞檢測隊

火力發電廠熱回收鍋爐材料壽命評估

Remaining Life Assessment of HRSG of the Power Plant

高全盛*
Kao, Chuan Sheng

謝運華*
Shieh, Yunn-Hua

吳政衛*
Wu, Chen-Wei

黃彥霖*
Huang, Yan-Lin

摘要

本研究針對運轉已 19 年之國內某電廠熱回收鍋爐之高壓主蒸汽管與集管進行壽命評估，評估方法是以非破壞之複製膜法到現場取得各組件金相資料，再分別就潛變孔洞變化、顯微結構改變及碳化物型態加以分析，最後以 MLAS 評估準則，評估各取樣點之壽命消耗百分比，並以微區取樣技術，切取 MS-42 塊材進行細部分析，分析結果如下：1. 高壓主蒸汽管與集管之鐸道熱影響區出現潛變孔洞或微裂紋之數量比例為 40%；2. 鐸道熱影響區之潛變壽命消耗：MS-14 與 MS-18 之鐸道熱影響區之潛變破壞等級與壽命消耗關係無法形成交集，故其潛變壽命消耗為 30~70%，MS-17 與 MS-40 為 40~50%，其餘取樣位置壽命消耗則為 30~40%。3. MS-42 鐸道熱影響區顯微組織異常。4. 透過微區取樣技術，切取高壓主蒸汽管與集管的 MS-42 位置之實體塊材，分析熱影響區內夾雜物，夾雜物與基材之間大多存有間隙，此夾雜物以 Zn、Cu、Ni 元素為主，推測可能為建廠鐸接集管時，外部金屬粉末污染到此處管材，建議定期追蹤其變化。

關鍵詞(Key Words)：殘餘壽命(Residual Life)、熱回收鍋爐(Heat Recovery Steam Generator, HRSG)、冶金壽命評估系統(Metallurgical Life Assessment System, MLAS)、微區取樣技術(Small Punch)。