

出國報告（出國類別：實習）

氣渦輪機葉片再生噴塗技術實習

服務機關：台灣電力公司 電力修護處

姓名職稱：呂元中 課長

派赴國家：日本、新加坡

出國期間：100.09.14~100.09.27

報告日期：100.11.01

出國報告審核表

| | | |
|----------------------------|--|-------------------|
| 出國報告名稱：氣渦輪機葉片再生噴塗技術實習 | | |
| 出國人姓名(2人以上,以1人為代表) | 職稱 | 服務單位 |
| 呂元中 | 葉片再生課課長 | 台電 電力修護處 |
| 出國類別 | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等) | |
| 出國期間：100年09月14日至100年09月27日 | | 報告繳交日期：100年11月01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：

- 一、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。
- 二、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 |
|-----|--|-----|----------|-----------|-------------|

QP-08-00 F06

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：氣渦輪機葉片再生噴塗技術實習

頁數 24 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

呂元中/台電電力修護處/葉片再生工場/葉片再生課課長/02-27853199

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.09.14-100.09.27

出國地區：日本、新加坡

報告日期：100.11.01

分類號/目

關鍵詞：氣渦輪機、葉片再生、熱元件

內容摘要：(二百至三百字)

本處(電力修護處)自民國 94 年起開始進行氣渦輪機組葉片的再生工作，目前致力於大潭三菱 M501F/G 葉片及導火筒等熱元件之研產任務，因該型機組(1500℃)再生技術更為複雜繁瑣，借由參訪日本三菱公司之行程，期能獲得啟發與助益。另透過本計畫赴新加坡 Sulzer Metco 公司研習最新熱噴塗設備及相關噴塗技術，Sulzer Metco 公司為國際級之全球熱噴塗設備及材料最大供應商，往來供貨廠商包括 SIEMENS、Mitsubishi、GE、ALSTOM 等世界級知名氣渦輪機製造廠。其亞太地區分公司即設於新加坡，訪談期間對於本處林口新廠區設備建置與規劃，皆提供專業且詳細之建議，有助於進一步地提昇本公司葉片再生處理的能力與能量。

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

摘 要

本公司複循環氣渦輪機包括 GE、Alstom、Siemens 與 MHI 氣渦輪機組共約 60 餘部，數量甚多，而國內民營電廠所建機組也多屬於燃氣之氣渦輪機組。但氣渦輪機製造商為提高運轉效率，不斷研發提高運轉燃氣溫度，其熱元件如葉片和導火筒等長期在高溫環境下運轉，使材料受到高溫氧化、熱疲勞和熱腐蝕的侵襲下產生嚴重劣化與龜裂，不但降低熱元件之耐久性且影響機組運轉之可靠性，為了確保機組運轉的安全性與穩定性，必須定期進行熱元件維修或更換，所費不菲。

本處(電力修護處)自民國 94 年起開始進行氣渦輪機組葉片的再生工作，目前致力於大潭三菱 M501F/G 葉片及導火筒等熱元件之研產任務，因該型機組(1500°C)再生技術更為複雜繁瑣，不易由一般 OEM 廠家取得核心技術。今年與三菱公司努力洽商後，終獲肯首同意參訪，對於本處未來二年期間(100~101 年)，必須完成大潭 M501F 葉片再生研產之重要任務，或能獲得啟發與助益，實為難得之機會。

另透過本計畫赴新加坡 Sulzer Metco 公司研習最新熱噴塗設備及相關噴塗技術，Sulzer Metco 公司為國際級之全球熱噴塗設備及材料最大供應商，往來供貨廠商包括 SIEMENS、Mitsubishi、GE、ALSTOM 等世界級知名氣渦輪機製造廠。其亞太地區分公司即設於新加坡，訪談期間對於本處林口新廠區設備建置與規劃，皆提供專業且詳實之建議，有助於進一步地提昇本公司葉片再生處理的能力與能量。

目 次

| | |
|---------------------------------------|----|
| 一.目的..... | 5 |
| 二.行程..... | 6 |
| 三.日本 M.H.I.公司氣渦輪機葉片再生技術研習..... | 7 |
| 四.新加坡 T.O.S 公司葉片再生技術研習..... | 12 |
| 五.新加坡 Sulzer Metco 公司噴塗設備與噴塗技術研習..... | 15 |
| 六.心得與建議..... | 26 |

一. 目的

氣渦輪機熱元件如葉片、導火筒等，運轉時數到達一定時程時，均需更換新品，但是新品價格昂貴，每級葉片動輒數仟萬元，對電廠營運是一大負擔。近十年來由於材料科學的研發成果及再生技術的進步，將此成果應用於氣渦輪機熱元件再生工程而大幅降低備品採購費用，已成為全球必然趨勢，實際應用成果也已相當穩定且成果良好。

本公司現有單循環或複循環機組之電廠計有林口、通霄、台中、興達、南部、大林及大潭等電廠。這些機組型式有 Siemens V84.2、V84.3、Alstom 11D5、11N、11NM、11N2、GE 7E、7EA、Mitsubishi 501F、501G 等。而今年 3 月發生於日本之地震及隨後引發的海嘯，造成福島核能電廠的核災事故，勢必改變世人對核能發電的看法與省思。預估未來氣渦輪機組的比率將會增加，熱元件的需求亦將提昇。而近年來各大氣渦輪機的製造廠商，莫不以提昇機組運轉效率為競爭目標，其中又以提昇燃氣進氣溫度為最有利的方​​式，以近期三菱公司生產製造的 M501F/G 系列為例，燃氣進氣已從傳統 1050°C 提昇至 1500°C。為因應此嚴苛的運轉條件，熱元件唯有不斷開發新的耐熱合金材料、改善葉片內部冷卻流道設計、研發新的表層噴塗技術等三方面著手。

本處(電力修護處)負責本公司氣渦輪機組熱元件再生研發、生產工作，自民國 94 年起開始進行再生工作至今，累積生產葉片數量已近 9 仟片，實際累積運轉時數亦已超過 25000EOH。面對未來數年本處必須完成大潭 M501F/G 型熱元件再生研產之重要任務，除與綜研所密切合作，以自行研發建立再生處理技術外，必要時需赴國外研習，適時引進先進技術及設備，以提昇本公司葉片再生處理技術與品質。

此次奉派出國研習的主要目的為：研習 M501 F/G 型氣渦輪機熱元件之再生技術及噴塗設備與噴塗技術研習，以提昇本公司對於此型葉片再生技術能力及品質。行程包括三菱(M.H.I.)公司高砂製作所、Sulzer Metco 新加坡分公司及順道參訪 Turbo Overall Service (T.O.S.)氣渦輪機再生公司(詳如表一)，透過本次的研習，一方面可以了解原廠最新的生產方向及維修技術；另外一方面則可以了解最新的葉片噴塗設備發展情形，以期將來可以應用在本公司再生製程上，提昇本公司的再生能量及技術。

二、行程

表一、研習行程表

| 日期 | 機構名稱 | 預計研習內容 | 實際研習內容 |
|-------------|------------------------|--------------|---------------------------------|
| 09/14~09/14 | | 去程(台北->日本) | |
| 09/15~09/24 | Mitsubishi Corporation | 氣渦輪葉片再生的相關技術 | 同預計 |
| 09/25~09/26 | Sulzer Metco | 噴塗設備與噴塗技術研習 | 1.T.O.S.參訪 2.Sulzer Metco 訪談 |
| 09/27~09/27 | | 返程(新加坡->台北) | |

三、日本 M.H.I. 公司氣渦輪機葉片再生技術研習

M.H.I. (Mitsubishi Heavy Industries) 公司係日本主要之重工企業之一，創立於 1870 年，資本額高達 2,656 億圓，產品則跨足甚多產業，例如海洋、印刷、核能、機械、航空、生活用品、環保等，該公司計有 9 個事業所(工廠)以負責各類產品之生產，其中有橫濱製作所、名古屋航空宇宙製作所、名古屋誘導推進製作所、神戶造船廠、高砂製作所、交通事業所、廣島製作所、下觀造船廠、長崎造船廠。與電業相關者為橫濱製作所及高砂製作所，本次參訪地點為關西兵庫縣高砂製作所。該所成立於 1962 年，目前員工約 5000 名，主要產品為 Gas turbines, Steam Turbines for thermal and nuclear power plants, Water turbines, Pumps 等。



高砂製作所內劃分為 29 區(如下圖)，分別對應各相關的生產製品。

本次安排之參觀路線為 Office No.4 → Small Blade Forging Shop → Large Blade Forging Shop → First Blade Shop(Steam Turbine) → Third Blade Shop(Gas Turbine) → Combustor Shop

→ Assembly Shop for Gas Turbine 等 7 區。其中與本處再生業務較相關者為 Third Blade Shop(Gas Turbine)和 Combustor Shop，該二區雖屬新熱元件製造區，但生產流程與製程管制仍有值得借鏡之處，將分別詳列於表二、表三：



表二、M.H.I. 導火筒製作與本公司再生流程比較

| | M.H.I | 台灣電力公司 | 備註 |
|---------|-------|--------|---|
| 1. 毀損評估 | V | V | Scrap Inspection Standard Heavy Extra Heavy |
| 2. 去塗層 | V (?) | V (噴砂) | 應為噴砂 |

| | | | |
|------------------|-------|-------|---------------|
| 3. 固溶熱處理 | X | X | MT- Fin 製作時實施 |
| 4. 液滲檢測(PT) | V | V | |
| 5. X光檢測 (RT) | X | X | MT- Fin 製作時實施 |
| 6. 磨修(Grinding) | V | V | |
| 7. 鐸修 | V | V | |
| 8. MT-Fin repair | V | X | |
| 9. 底層噴鐸 | APS | APS | |
| 10. 面層噴鐸 | APS | APS | |
| 11. 尺寸量測 | V(接觸) | V(光學) | |
| 12. 清理冷卻孔 | V (?) | V | 應為人工 |

從表二中可以了解在導火筒毀損評估方面，M.H.I.計分五級，分別為檢測(Inspection)→標準維修(Standard)→重級維修(Heavy)→超級維修(Extra Heavy)→廢棄(Scrap)等，依其維修級別計價。而本處除無法更換導火筒母材外，維修等級已近其重級維修(Heavy)。

非破壞檢測方面，M.H.I.以液滲檢測(PT)為主，射線檢測(RT)僅於導火筒母材-多重傳導薄膜夾層(MT-Fin)成型時實施，主要目的在確認夾層內之冷卻流道暢通無阻，一旦各層板組件鐸合成型後，即不再實施 RT 檢測。

在瑕疵維修方面，M.H.I.以磨修為主鐸修為輔，因有直接供應母材層板優勢，若遇嚴重且密集之瑕疵，可進行整片組件更換，即其檢修分類之超級維修(Extra Heavy)等級。據其接待人員透露，M501F/G 型導火筒，因其旁通管根部易發生裂痕瑕疵(與本處 NDT 檢測結果相同)，新型 M501 J

型導火筒將取消此旁通管之設計。

M.H.I.公司噴鋁製程以大氣電漿噴鋁(APS, Atmospheric Plasma Spray)方式，依序噴塗底層與表層，相關製程、設備與本處大致相同，而噴塗後層板內面冷卻孔疏通工作，似採手工具研磨方式疏通，現場未發現使用自動化設備，如雷射加工機等。

成品尺寸量測方面，M.H.I.採用接觸式量測方式，有別於本處使用光學式量測方式，因其有專用之量測夾治具，更能快速有效率的反應成品尺寸精度，即時實施校正處理，這是本處值得學習與努力的地方。

表三、M.H.I.葉片製作與本公司再生流程比較

| | M.H.I | 台灣電力公司 | 備註 |
|-----------------|--------|--------|--|
| 1. 毀損評估 | V | V | Scrap Inspection Standard Heavy Extra-Heavy(動) |
| 2. 去塗層 | V (?) | V (研磨) | 應為噴砂 |
| 3. 固溶熱處理 | V | V | |
| 4. 螢光液滲(FPI) | V | V | |
| 5. X光檢測 (RT) | X | V | |
| 6. 鋁修 | V(氬鋁) | V(氬鋁) | |
| 7. 磨修(Grinding) | V | V | |
| 8. 硬鋁 | V(FIC) | V | 未實際觀看 |

| | | | |
|--|------|-------|----------------|
| 9. 底層噴鋅 | LVPS | LVPS | 3/4 B/V 為 HVOF |
| 10. 面層噴鋅 | APS | APS | |
| 11. 清理冷卻孔 | V | V | 應為人工 |
| 12. 流量測試 | V(?) | V(水流) | 未實際觀看 |
| 13. Tapping Test Momentum-Measurement | V | X | 未實際觀看 |

而由表三中可以了解在靜葉片毀損評估方面，M.H.I.計分四級，分別為檢測(Inspection)→標準維修(Standard)→重級維修(Heavy)→廢棄(Scrap)等，在動葉片方面則增設超級維修(Extra Heavy)而成為五級，依其維修級別而計價，而本處目前維修方式相當於其重級維修(Heavy)。

非破壞檢測方面，M.H.I.以液滲檢測(PT)為主，未實施射線檢測(RT)。在瑕疵維修方面，以磨修為主鋅修為輔，但動葉片僅施鋅於葉端(tip)位置，葉面(profile)區域則以硬鋅方式處理，但需經氟化離子清潔法(FIC Fluoride ion cleaning)清洗，目前綜研所有設置此項設備。

噴鋅製程分葉面底層與葉面頂層，依不同級別之葉片而略有不同，應與葉片運轉溫度與條件有關。如真空電漿噴鋅(LVPS, Low Pressure Plasma Spray)實施於第1級、第2級動/靜葉片底層；高速火焰噴鋅(HVOF, High Velocity Oxygen Fuel Processes)實施於第3級、第4級動/靜葉片底層；而大氣電漿噴鋅(APS, Atmospheric Plasma Spray)僅實施於第1級、第2級動/靜葉片頂層。而噴塗後葉面冷卻孔疏通工作，採手工具研磨方式疏通，每個研磨站並訂有每月生產目標值。現場並未發現使用自動化設備，如雷射加工機等。

於高砂廠區參觀期間，廠方派有二名接待人員跟隨，不准攜帶相機並專車接送。廠區內各工作站皆以透明塑膠布隔間，即防止異物飛濺、便於瞭解工作情形及達到保密性果。廠內人員以工作服、安全帽區分身份(入內參觀需穿著)，其對核心技術的保護用心值得學習。

四、新加坡 T.O.S. 公司葉片再生技術研習

T.O.S. (Turbine Overhaul System) 公司為美國普惠(Pratt & Whitney)公司在新加坡轉投資的一家葉片再生公司。而普惠為世界上三大航空發動機廠商之一(另二家為奇異及勞斯萊斯)，其持有 T.O.S 約 51% 的股份，並且支援相關的再生技術。

T.O.S. 每年再生的葉片以航空用的空壓段及低級數葉片為主，每年的再生產能為 10 萬片。另再生部份陸地用的氣渦輪機葉片(IGT, Industrial Gas Turbine)，主要以 GE 葉片為主，只約佔 20% 的總再生產能。

本次參訪以陸地用的氣渦輪機葉片的再生程序為標的，綜觀 T.O.S. 公司在再生製程方面，有些部份與本公司略有不同，經整理後，異同點如表四所示。

表四、T.O.S. 與本公司再生流程比較

| | T.O.S. | 台灣電力公司 | 備註 |
|-----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 1. 去塗層 | V (酸洗) | V (噴砂) | 面層：噴砂 底層：酸洗 |
| 2. 固溶熱處理 | V | V | |
| 3. 螢光液滲(FPI) | V | V | |
| 4. X 光檢測 (RT) | V | V | 視情況 |
| 5. 磨修(Grinding) | V | V | |
| 6. 銲修 | Tip-雷射銲 其他- 氬銲 | 雷射銲. 氬銲不分銲 修位置 | |
| 7. 硬銲 | V | V | |

| | | | |
|-----------|--------|-------|--|
| 8. 底層噴鋁 | LVPS | LVPS | |
| 9. 面層噴鋁 | APS | APS | |
| 10. 清理冷卻孔 | V (手工) | V(手工) | |

從表四中可以了解在前處理的去塗層方面，T.O.S.公司於面層選擇噴砂方式去塗層，而底層則採用酸洗方式去塗層，經詢問為何需分為二階段實施，答稱底層無法以噴砂方式清除，推測應為無足夠熟練之去塗層技術人員有關。而基於人員、環境安全因素考慮，酸洗去塗層儘可能採發包方式處理，若依 T.O.S.公司近年來作業概念轉變之趨勢來看，以自動化噴砂去塗層似為未來較理想的作業方式。

非破壞檢測方面，T.O.S.以螢光液滲檢測(FPI)為主，再輔以射線檢測(RT)但非必要，通常用於磨修後，FPI 檢測仍發現有嚴重瑕疵者或於鋁補後確認鋁道完整性時方使用。

在瑕疵鋁修方面，T.O.S.以雷射修補葉片的頂端(tip)，以氬鋁修補葉面，依現場實際觀察所得，除鋁接電流較低外，其餘鋁接程序與本場大致相同。其實 T.O.S.的修補方式仍以磨修為主，推測應與其非破壞檢測方式有關。

T.O.S.公司噴鋁製程含真空電漿噴鋁(LVPS, Low Pressure Plasma Spray)及大氣電漿噴鋁(APS, Atmospheric Plasma Spray)二種，其中大氣電漿噴鋁主要應用在一般大氣環境下的噴鋁，通常用於葉面表層，為陶瓷絕熱塗層。而真空電漿噴鋁則應用在低壓環境下噴鋁，通常用於葉面底層，屬抗高溫氧化塗層。相關製程與本處大致相同，而噴塗後葉面冷卻孔疏通工作，仍採手工具研磨方式疏通，尚未使用自動化設備，如雷射加工機等。

T.O.S.公司以航空用葉片再生為其主要生產工作，相關之生產設備、夾治具、檢驗與維修製程完善。相對的陸地用氣渦輪機用葉片再生工作，所獲資源即有限。依其內部人員所稱，因二種生產工作不同，需適用之檢驗標準與生產程序亦不同，為避免混用產生作業疏失，作業人員及生產設

備可能需重覆設置，一般皆會有所取捨，如 T.O.S.即以航空用葉片為主。本場未來林口廠區生產規劃若受限於空間取得、設備投資或人力需求時，亦可考慮以產值效益與用料優先順序為依據，優先承做某些相對較重要機型，其餘則可暫委交 OEM 廠商再生，以獲取最大經濟效益。

五、新加坡 Sulzer Metco 公司噴塗設備與噴塗技術研習

本次出國研習的重點除了參觀日本 M.H.I. 的生產製程外，就是著重在了解最新熱噴塗設備及相關噴塗技術的最新開發情況。

近年來各大氣渦輪機的製造廠商，莫不以提昇機組運轉效率為競爭目標，其中又以提昇燃氣進氣溫度為最有利的方式，以近期三菱公司生產製造的 M501F/G 系列為例，燃氣進氣已從傳統 1050℃ 提昇至 1500℃。為因應此嚴苛的運轉條件，避免材料受到高溫氧化、熱疲勞和熱腐蝕的侵襲而產生嚴重劣化與龜裂，以確保機組運轉的安全性與穩定性。熱段組件唯有不斷借由開發新的耐熱合金材料、改善葉片內部冷卻流道設計、研發新的表層噴塗技術等三方面著手。但新合金材料的開發動輒數年之久，複雜化的流道設計則提高製造與維修的困難度，唯有新的塗層材料與設備研發，最能符合熱段組件的耐熱需求。

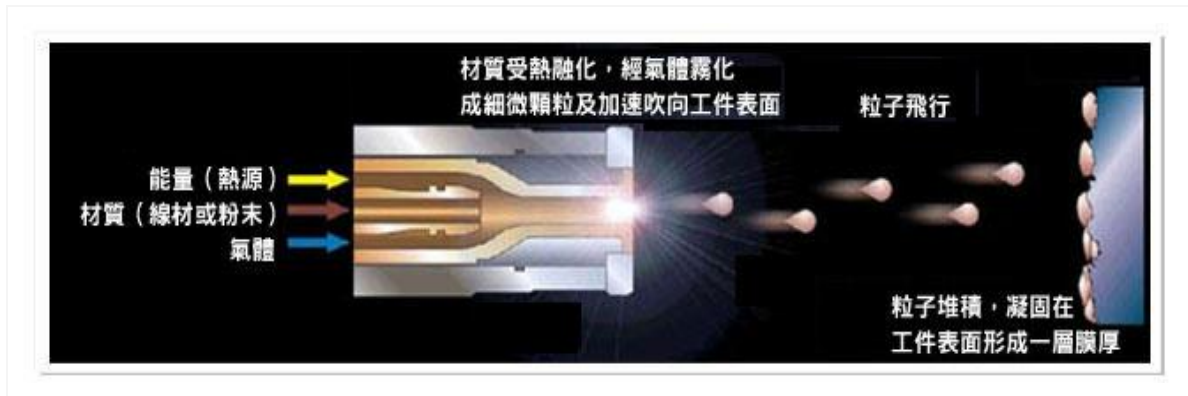
5.1 熱噴塗 Thermal Spray 起源

1900 年代 Max Ulrich Schoop 在瑞士蘇黎世實驗室發明以鉛，鋅等金屬作為噴塗用防護塗料，而在 1909 年獲得了此項專利，當時是利用燃燒過程（氧燃料）融化金屬線而直接覆蓋到基板上。Schoop 在 1911 年註冊的第二個專利是以電弧作為生產熱源，因此熱噴塗技術正式開始成立。在其早期的應用方面，噴鍍金屬過程主要用於防腐塗料的採用。

5.2 熱噴塗 Thermal Spray 原理

熱噴塗，又稱溶射或噴焊，其基本原理是將材料（粉末或線材）加熱熔化，在氣體高速帶送下衝擊附著於底材（或工件）表面、堆積、凝固形成膜厚或塗層，達到防腐蝕、防銹、耐磨、潤滑、表面粗糙化、吸附、絕緣、絕熱……等目的。

熱噴塗是表面處理中的一項特殊處理技術，其用途非常廣泛，如航太、化學、鋼鐵、電力、汽車、紡織、電子、生醫、印刷、造紙……等產業。



熱噴塗材料受熱、飛行、附著過程

5.3 Sulzer Metco 公司介紹

瑞士 Sulzer 公司成立於 1834 年，至今已有 177 年歷史，最初為一鑄造工廠，由 Sulzer 兄弟經營。之後由查爾斯-布朗(Charies Brown)在 1867 年為 Sulzer 公司發明閥門配汽式蒸汽機後，而轉型為工業化企業。其後陸續涉入柴油發動機、離心泵、燃氣渦機、石油分餾塔等事業，1980 年代併購另一家瑞士 Metco 公司後，成立 Sulzer Metco 公司而正式進入表面處理領域。

Sulzer Metco 是全球熱噴塗設備及材料最大的供應商，市場佔有率 70%以上，其應用範圍涵蓋航太、汽車、電子、醫療、運輸、電力及其他機械相關產業，總公司設於瑞士 Wohlen、美國分公司設於紐約 Westbury、亞太地區分公司設於新加坡和日本。其公司組織計分四個商業部門及一個客戶支援部門，分別為：

材料部門：噴塗的粉末與線材，硬鋅、鋅接覆材、電漿傳送電弧與基質材料。

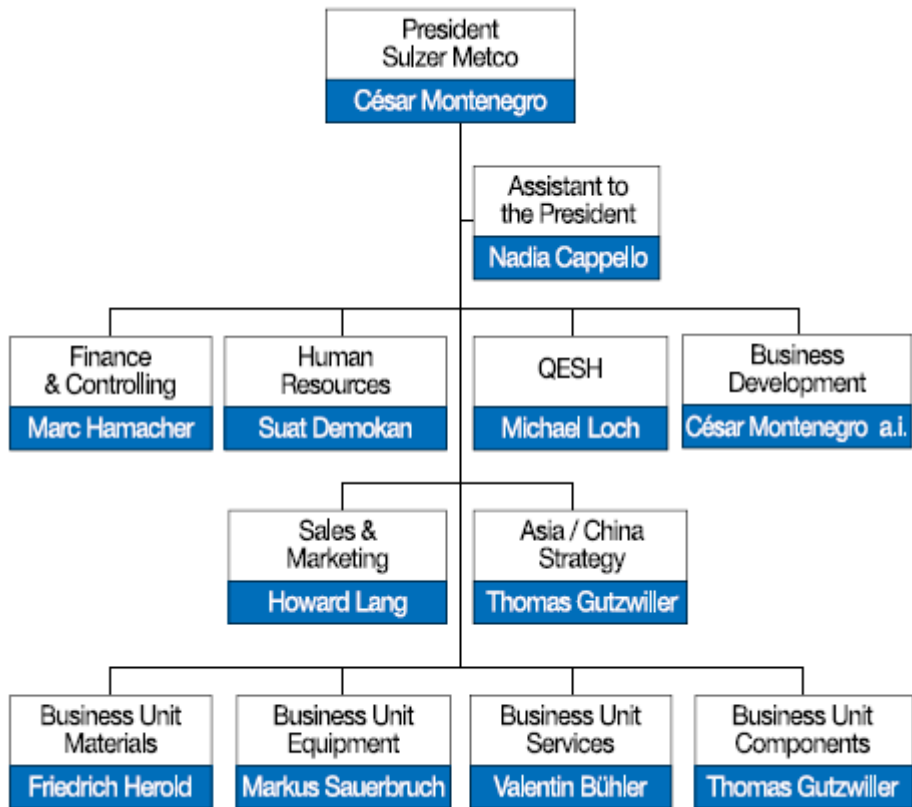
設備部門：熱噴塗的一體設備與備份零件，物理蒸鍍與電漿滲氮。

接單服務部門：熱噴塗、物理蒸鍍塗層、滲氮與熱處理，塗層前、後熱處理。

零件部門：與 OEM 共同發展、零件製造、傳統與非傳統機製品。

客戶支援：技術提供、計算量測、設備維護、訓練和發展。

台灣科敏公司是負責台灣地區有關 Sulzer Metco 熱噴塗設備、材料、零件、粉末等相關產品的銷售、維修及技術諮詢等服務之單位。



Materials

- Spray powders
- Spray wires
- Braze, weld overlay and plasma transferred arc materials



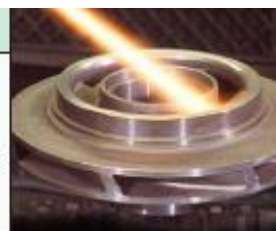
Equipment

- Integrated systems and spare parts
- Thermal spraying
- Physical vapor deposition
- Plasma nitriding



Services

- Thermal spray coating
- Physical vapor deposition coating
- Nitriding and heat treatment
- Pre and post coating treatment



Components

- Co-development with OEM's
- Part manufacturing
- Conventional and non-conventional machining



Customer support

- Technical support
- Calibration
- Equipment maintenance
- Training
- Research and development

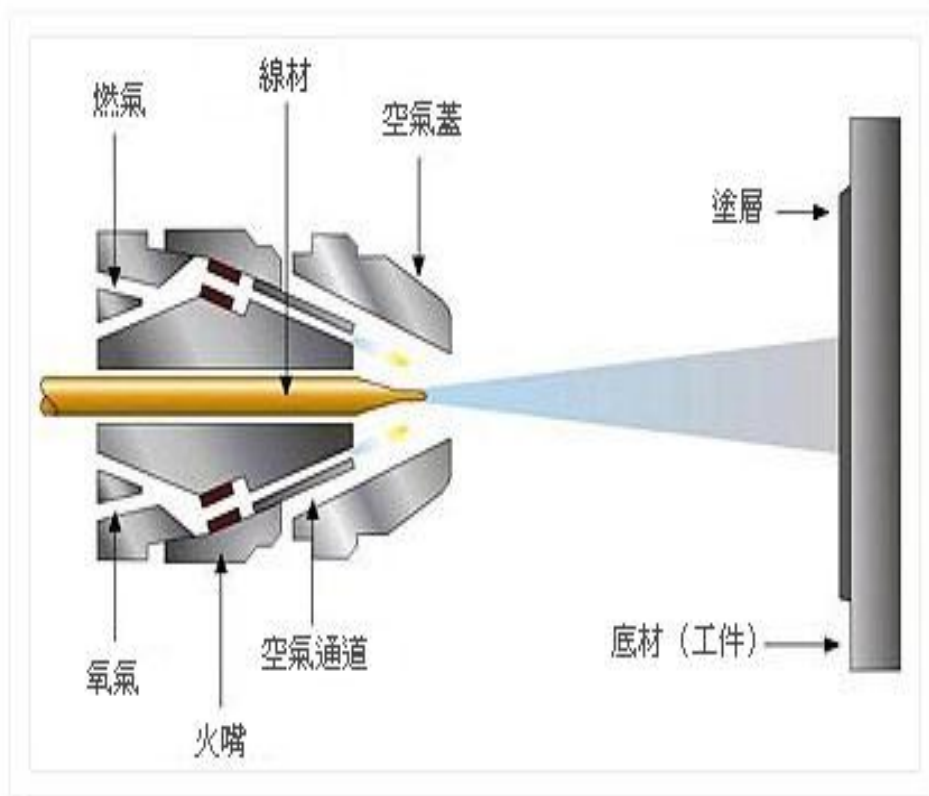


5.4 噴鋸設備種類：

- A. 火焰線材噴鋸 (Wire Flame Spray)
- B. 火焰粉末噴鋸 (Powder Flame Spray)
- C. 電弧噴鋸 (Electric ARC Spray)
- D. 高速火焰噴鋸 (HOVF, High Velocity Oxygen Fuel)
- E. 大氣電漿噴鋸(APS, Atmospheric Plasma Spray)
- F. 真空電漿噴鋸(LVPS, Low Pressure Plasma Spray)

A. 火焰線材噴鋸 (Wire Flame Spray)

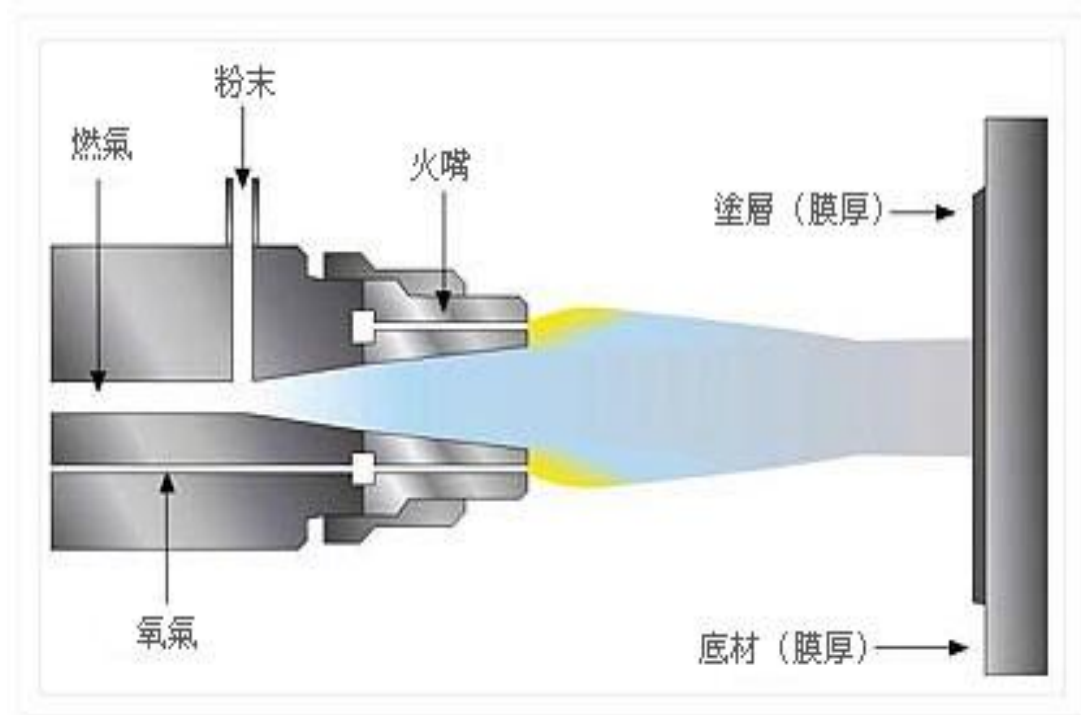
火焰溶射的熱源來自氧氣與燃氣混合燃燒的火焰，線材經火焰中心 熔化，再經高壓空氣霧化成細微顆粒及加速帶送吹向底材表面，堆積、凝固形成塗層或膜厚。缺點為受到化學燃燒反應焓的限制，溫度僅達 3000°C，僅能使用低熔點噴塗材料，如金屬、金屬-陶瓷複合材料塗層。



B. 火焰粉末噴鋸 (Powder Flame Spray)

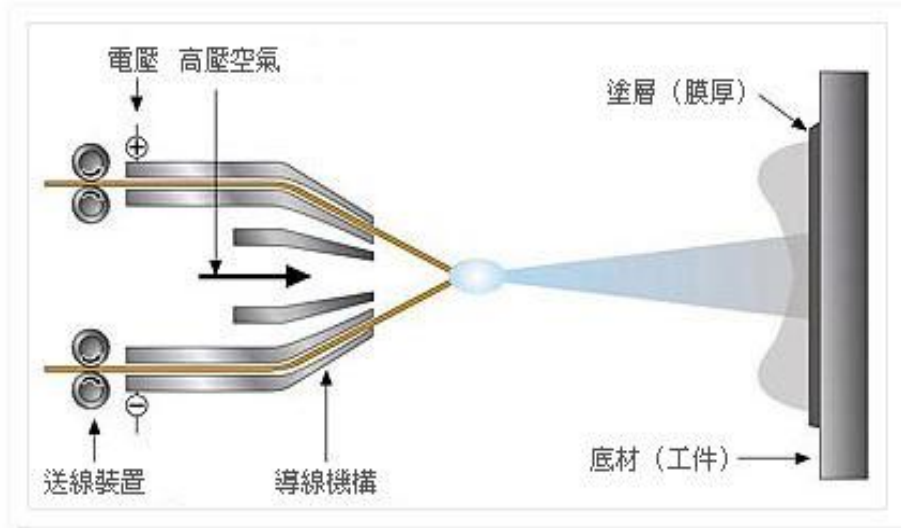
火焰粉末溶射，其基本原理同火焰線材溶射，差異在於送料方式不同，火焰粉末溶射的材質型態是粉末，所以在材質選擇方面火焰粉末溶射比較多，因為不是所有的材質都可以做成線材。

其所溶射出來的塗層或膜厚的表面粗度、大小取決於粉末顆粒大小。其塗層的硬度則取決於粉末材質的選用。缺點與火焰線材噴鋸相同。



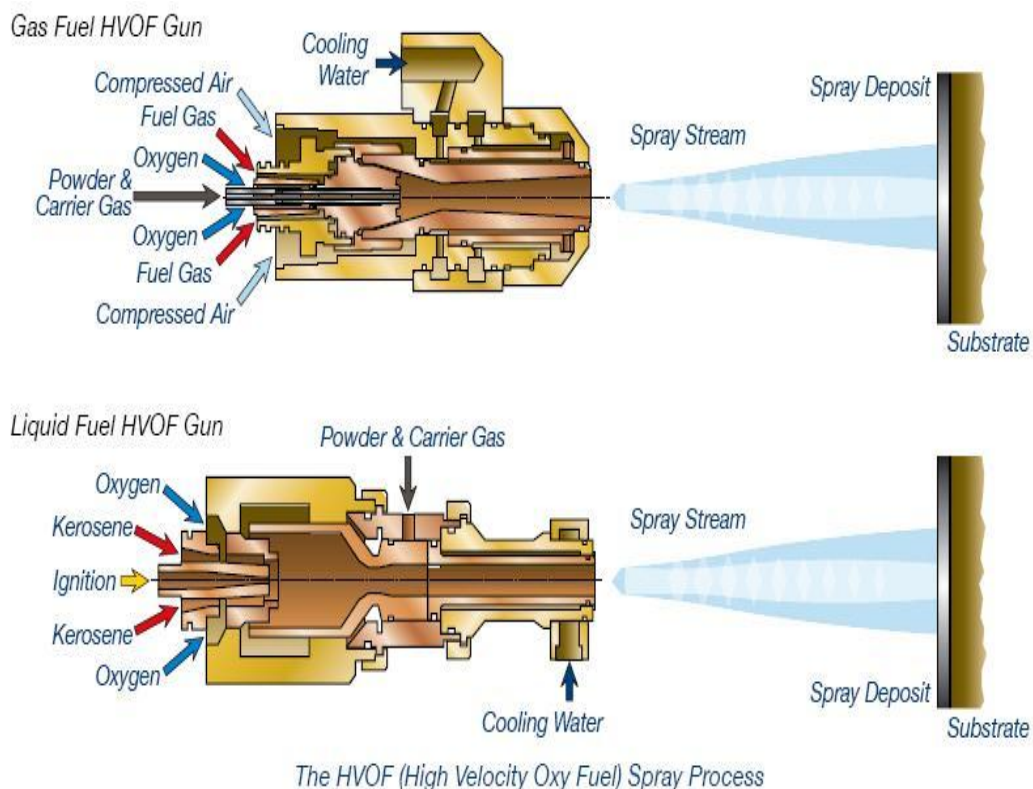
C. 電弧噴鋸 (Electric ARC Spray)

電弧溶射，要將兩條各自帶有正電負電的相同金屬線接觸產生電弧，瞬間產生高熱將金屬線材融化，再經高壓空氣吹細霧化，帶送吹向底材（或工件），堆積、凝固成塗層或膜厚。缺點為僅能使用可導電之線材且線材預熱不易。



D. 高速火焰噴鋸 (HVOF)

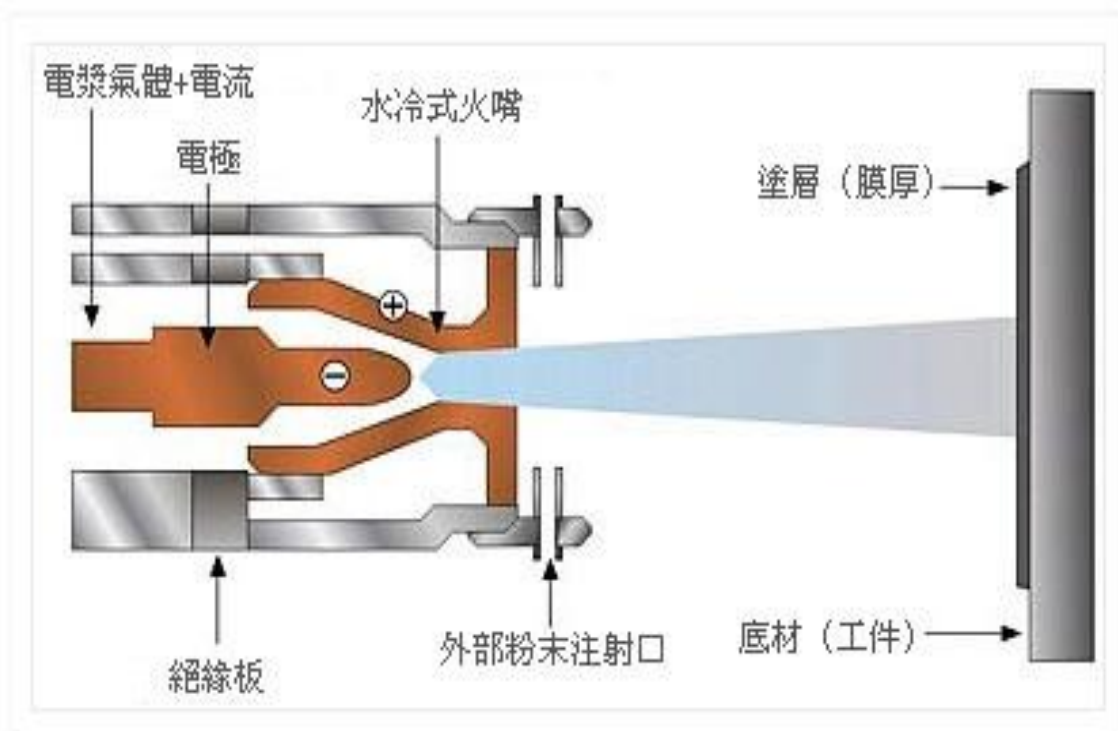
高速火焰溶射，其基本原理類似火焰粉末溶射。差別在於受高速火焰溶射帶送的粉末速度快很多，粉末以超音速（約 600m/sec）衝擊堆積凝固於底材表面，因熔融料子具有具高的動能，其形成的塗層結構比較結實緊密，塗層的機械強度遠大於火焰粉末溶射的塗層。設備成本比真空電漿噴鋸(LVPS)低，但其塗層含有較高的氧化物。



E. 大氣電漿噴鋸(APS, Atmospheric Plasma Spray)

電漿溶射原理，如圖所示，係氣體（氫、氫、氮、氦）離子化之後所產生的高熱現象，換句話說也就是電能激發氣體，轉變為熱能現象，當中所產生的電弧溫度可能達 12000°C。

電弧形成之後，再將粉末注入到火焰中心，使其溶化並以約 300 米/每秒的高速撞擊工件表面（母材）而形成塗層（Coatings）。因熱源溫度高故可使用於高熔點陶瓷噴塗材料。因於一般大氣環境中噴鋸，塗層含有較高的氧化物與空孔率。



F. 真空電漿噴鋸(LVPS, Low Pressure Plasma Spray)

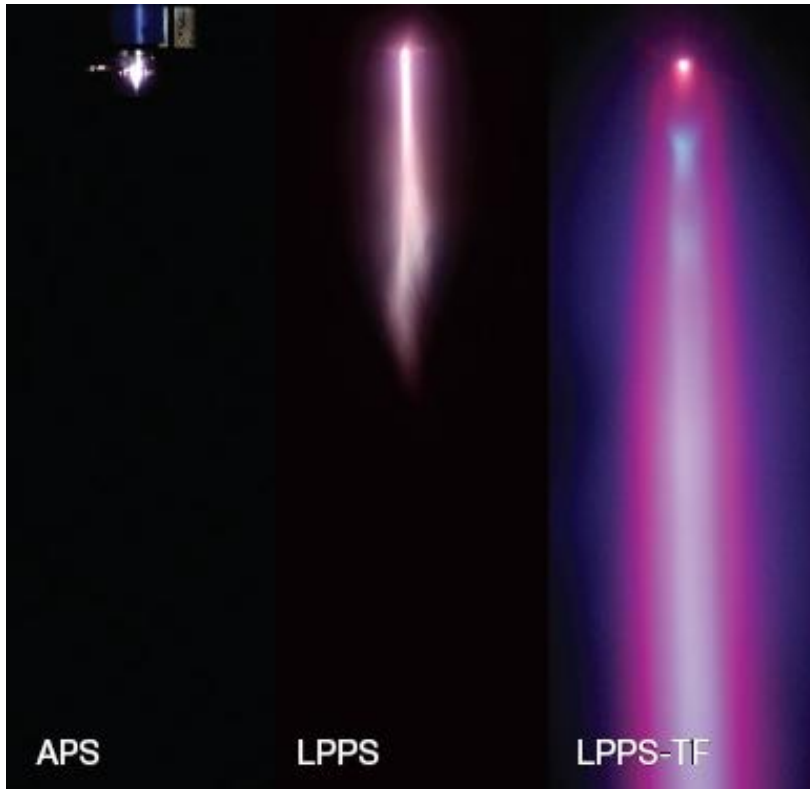
電漿溶射原理同大氣電漿噴鋸(APS)，但因於真空環境下噴鋸，故氧化物與空孔率最低，塗層緻密。另噴塗前母材預熱於高溫中，降低與噴塗材料間因溫度差引起之殘留應力，減少塗層剝落機會。也因相關附屬設備多，機台設備亦最為昂貴。

5.5 發展中的新型真空電漿噴鋅

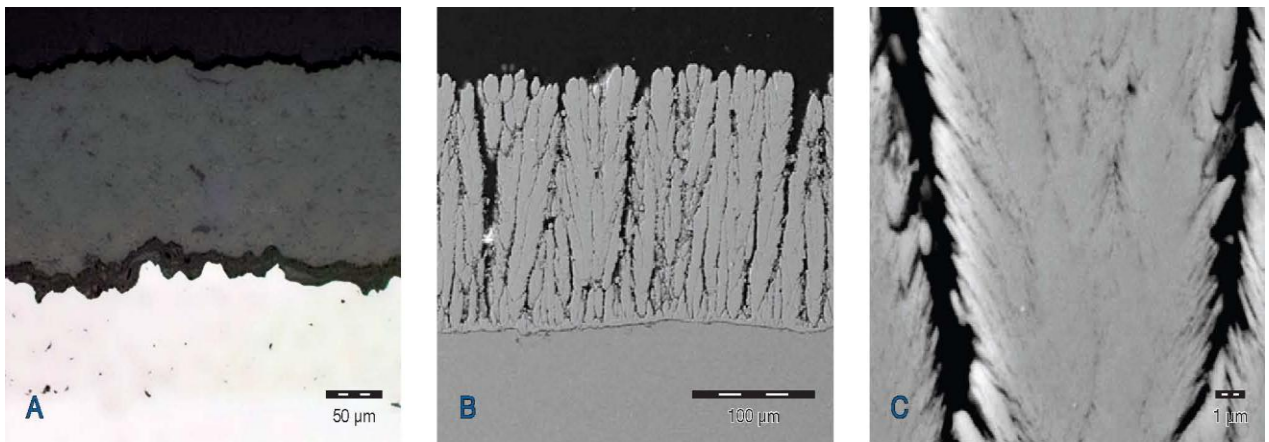
LVPS 的製程有著許多值得稱讚的屬性的，但在一般情況下熱噴塗工業仍有兩個方面未能實行，全面覆蓋薄塗層和盲區(blind surface)塗層能力。非常薄的塗層可使用 PVD(電子束物理沉積法，所噴覆之 TBC 塗層為柱狀，與傳統 APS 噴覆的堆疊狀不同，具有較佳的應變容忍性及抗沖蝕性，塗層厚度 1~5um，噴塗材料 Ti(C,N)。)和 CVD(化學氣相沉積，一種常用在內孔的鍍層上，主要針對葉片內部冷通道，以化學蒸鍍一層保護性塗層，塗層厚度 1~50um，噴塗材料 SiC。)製程，而某些製程如 CVD 也能夠塗佈盲區。對此一些應用產業已經開始著手尋找一個方法，使其塗層厚度範圍介於傳統的薄膜工藝和熱噴塗法之間，而其噴塗範圍可同時應用於物件表面與物件內部。

Sulzer Metco 開發的全新 LVPS 機台，其噴塗厚度已可介於傳統薄膜流程和熱噴塗之厚度範圍之間，此外它的電漿射流長度達 2 米，直徑 200 至 400 毫米，有能力在噴塗室內產生蒸氣相，而產生沉積能力，意味著盲區現在已經可採用熱噴塗製程噴塗。





各型噴鋸設備噴鋸電漿長度示意圖



LPPS-TF 噴塗形成之柱狀 TBC 塗層

5.6 會議議題討論

Sulzer Metco 新加坡分公司對於本次參訪行程極為重視，除於行前親訪本處安排訪談相關事宜外，於訪談當日原安排與瑞士總公司專業工程師實施視訊會議，亦臨時飛抵新加坡當面會談，處理態度令人印象深刻。而對於本處所提議題，皆能詳實答覆與提出適當建議，對於本處未來林口新廠區廠房設置規劃，有實質上的幫助。全部討論議題整理如下：

A、用於 GT 熱元件(hot pass parts)再生，HVOF 的使用優勢為何?

Ans：初次建立成本低、機台結構較簡單。但 HVOF 噴塗品質較 LVPS 差，耗粉率及維修成本較高，且因可調整的參數不多(LVPS 可調整電壓、電流、電漿氣體、送粉率等)，故靈活性不足。

B、用於 GT 熱元件(hot pass parts)再生，HVOF 是否可取代 LVPS?

Ans：依其目前主要往來廠商(西門子、三菱、Alston、GE)分析，除西門子中國廠曾購置 4 台外，其他皆購置 LVPS，而 HVOF 通常用於後段低溫葉片，隨著新型氣渦輪機製造，入口燃氣溫度再次提昇下，未來後段葉片底層噴塗有可能以 LVPS 取代。

C、LVPS 是否可雙用於金屬底層噴塗與陶瓷面層噴層?

Ans：新型 ChamPro® LPPS®- TF 可適用。Sulzer Metco 專業工程師為此提出數十分鐘的產品簡報，詳細資料如前所述。但目前屬高階產品，價格昂貴，於氣渦輪機再生應用上並不建議採購。

D、為了產線流程順暢，LPPS 與 APS 機台配置數的最佳比例為何?

Ans：一台 APS 足應付 LVPS 產出需求，但若為新型三艙式 LVPS，廠商會代為提出適當計算建議。

E、貴公司是否有再生 MHI M501F/G 系列熱元件(hot pass parts)的經驗，相關再生用機台設備的採購(bond/top coating machine)，是否可提供寶貴意見?

Ans：多數原廠葉片製造商及 OEMs 廠家購置之 LVPS 機台仍為傳統機型，但皆加裝葉片裝卸用機械手臂，可大幅節省冷卻葉片之等待時間，且提高對於操作人員的安全保護。噴塗艙體積加大，以適用於新型葉片，建議改為三艙式機型，主艙噴塗；二座副艙預先加熱及清潔葉片備用，效率可提昇 2~3 倍。

F、依貴公司對於去塗層(stripping)方面的經驗，目前有無自動化的去塗層設備販售或建議?(physical or chemical stripping equipment)

Ans：曾開發一台水刀式去塗層機，但大多為自動噴砂機台，因本處有此需求，承諾寄送機台規範與價格分析資料，另依用途可分為葉片用與熱元件用二種規格型式可供參考。

六、心得與建議

- 6.1、M.H.I.與 T.O.S.皆為世界級之葉片再生公司，現場產線規劃完整流暢，對於本身智慧財產權的保護亦完善，不論參觀路線、接待人員皆有專人專責，其對核心技術的保護用心，都足以作為本場學習的目標與借鏡。
- 6.2、新加坡 T.O.S 公司再生的葉片分為航空用與發電用葉片二種類型，因檢驗標準與生產程序皆不同，作業人員及生產設備可能面臨重覆設置的情況，一般皆會有所取捨，如 T.O.S.即以航空用葉片為主。本處未來林口新廠區之生產規劃若受限於空間取得、設備投資或人力需求時，亦可考慮以產值效益與用料優先順序為依據，優先承做某些機型，其餘可暫委交 OEM 廠商再生，以獲最大生產效益，減輕公司營運負擔。
- 6.3、噴砂去塗層方式，較無人員、環境影響疑慮，但施工人員素質直接決定成品品質，以機械取代人工一直是本處努力方向，藉由本次海外交流方式與國外知名廠商建立良好互動關係，亦獲承諾提供日後採購設備之相關資訊。除有助於建立產線製程最佳化外，並可納入本處林口新廠區廠房規劃之藍圖。
- 6.4、在本處與綜研所數年來之共同努力下，自民國 94 年起累積生產葉片數量已近 9 仟片，成品累積運轉時數亦已超過 25000EOH。在氣渦輪機葉片再生之製程與維修方式上，應與世界級的大廠不相上下，所差僅在生產效率需提昇。目前本處除持續引進自動化生產設備外，亦同時與國外專業研究機構如 EPRI(Electric power research institute)等，共同合作研定最佳的檢測標準與維修程序。而近來國外知名葉片製造大廠如 Siemens、M.H.I.，皆陸續表達希與本處合作再生葉片之意願，充分顯示本處再生葉片之品質已獲其認同與肯定，在無原廠技術支援，亦無相關葉片尺寸可供作參考情況下，本處已發展至此規模實為難能可貴。