

出國報告(出國類別：其他(參加國際會議))

參加 2011 年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨 商展出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：蔡孟修 聘用技士

派赴國家：美國

出國時間：100 年 05 月 22 日至 100 年 05 月 28 日

報告日期：100 年 06 月 28 日

國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項處理表

報告名稱	參加 2011 年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨商展出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	聘用技士 / 蔡孟修
公差地點	美國	出/返國日期	<u>100.05.22</u> / <u>100.05.28</u>
建議事項	<p>1. 此次鈦合金國際大廠 TIMET 與 ATI 發表了許多新型鈦合金的材料，就鈦合金合金技術發展趨勢朝著低成本、加工度佳與耐磨耗性方向進行開發。而就本院角度而言，應朝向 β-type 的合金設計方向發展，但與此同時須考量到後續加工後強度是否符合需求，因此建議朝原材料為 β-type，而須靠後續的熱處理使其最後落於 $\alpha + \beta$ 兩相區內，方可保存彼此的優良性質。</p> <p>2. 抽線過程中的巨觀與微觀應力應變行為在有限元素分析法已經進行此類的分析工作，本院現今進行晶圓切割線的開發，除了抽線製程外，韌化處理製程更是關鍵技術所在，如能建立由熱處理端至抽線製程整套的模擬製程技術，可成為國際細線領域中技術領先者。</p> <p>3. 鈦合金未來可應用於能源與耐腐蝕上的用途，如取代不銹鋼進行海水淡化管件的材料、海洋溫差發電的鈦合金交換器、核能發電用低壓斷凝氣的發動機葉片、冷卻管。</p>		

處理意見	<p>一、國際大廠發表許多新型鈦合金的材料，並將其與現有商用 Ti6Al4V 功能做比較，值得參考。</p> <p>二、本報告內容符合出國目的，請著手進行晶圓切割線應力分析工作，建議可先朝 X 光繞射分析其殘留應力著手。</p> <p>三、因應鈦合金為 21 世紀節能金屬，特別是減重與耐腐蝕需求，該報告內容指出許多鈦合金未來的用途，可應用於其他明星產業，由政府主導整合業者共同研發確是較佳方案。如能成案，本院未來應可參與研發。</p>
------	--

國防部軍備局中山科學研究院
100年度出國報告審查表

出國單位	第五研究所	出國人員 級職姓名	聘用技士/蔡孟修
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位	<p>一、本報告內容符合出國目的，所獲資訊對於未來計畫方向之擬定，極具參考價值。</p> <p>二、本報告內容屬國際間公開之研究資訊，為工業服務計畫參加研討會之出國報告，未涉及本院研發機密，屬於一般性報告。</p>		
計 品 會			
保 防 安 全 處			
企 劃 處			
批 示			

國外公差人員出國報告主官（管）審查意見表

本院蔡員派赴美國參加 2011 年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨商展，除了參加前的充分準備外，也積極與國外專家交流討論。瞭解先進國家在鈦合金製程上與新材料開發，可應用未來許多節能產業上。本報告顯示蔡員參於此次國際會議收集到最新鈦合金發展的資訊，並提出適切的心得和具體的建議事項，對於國內產業界的推廣與本院未來的技術研發工作之建案及推展有具體的貢獻。

出國報告審核表

出國報告名稱：參加 2011 年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨商展出國報告			
出國人姓名	職稱	服務單位	
蔡孟修	聘用技士	國防部軍備局中山科學研究院	
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 (參加國際會議)		
出國期間：100 年 05 月 22 日至 100 年 05 月 28 日		報告繳交日期：100 年 06 月 28 日	
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 <input checked="" 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"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <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：報告內容不涉機敏，資訊可公開。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> 敬會：保防官及保防督導官 <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px dashed red; width: 100px; height: 20px;"></div> </div>		
審核人	出國人員	初審（業管主管）	機關首長或其授權人員

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 資 料 頁

1. 報告編號： CSIPW-100Z-D0002	2. 出國類別： 其他(參加國際會議)	3. 完成日期： 100年06月28日	4. 總頁數：32
5. 報告名稱：參加 2011 年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨商展出國報告			
6. 核准 文號	人令文號 部令文號	100.05.18 國人管理字第 1000006543 號 100.05.13 國備科產字第 1000006614 號	
7. 經 費		新台幣：130022 元	
8. 出(返)國日期		100年05月22日至100年05月28日	
9. 公差地點		美國長堤	
10. 公差機構		ASM、ATI Aerospace and Boeing	
11. 附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2011 年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨商展出國報告

頁數 32 含附件：^ 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院/蔡孟修/357063

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡孟修/國防部軍備局中山科學研究院/第五研究所/聘用技士/357063

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他（參加國際會議）

出國期間： 出國地區：

100 年 05 月 22 日至 100 年 05 月 28 日 美國

報告日期：

100 年 06 月 28 日

分類號/目

關鍵詞：

鈦合金、高強度鋼線材模擬、鈦合金製程、鈦合金粉末

內容摘要：(二百至三百字)

配合工業服務計畫之需求，前往美國參加 2011 年 Aeromat 鈦合金會議和商展，研討鈦合金在材料製程、二次加工製程和表面領域的最新研究。本報告內容涵蓋對於新型鈦合金合金設計技術的趨勢、鈦合金提煉過程、鈦合金二次加工技術、高強度鋼線材模擬、鈦合金在航太產業的應用等研討內容。

另由此次商展所見之各種產品所用鈦合金粉體技術、電子束熔融設備以及可攜帶式的 X 光繞射儀，瞭解鈦合金粉體最新發展趨勢，並吸取先進國家在鈦合金材之研發經驗，有利後續計畫研發方向規劃之參考。

目 次

壹、目的	(頁次 10)
一、緣由	(頁次 10)
二、鈦金屬介紹	(頁次 10)
三、晶圓切割用高強度鋼線材	(頁次 12)
貳、過程	(頁次 13)
一、研討會與商展簡介	(頁次 13)
二、研討會內容	(頁次 16)
三、商展內容	(頁次 25)
參、心得	(頁次 31)
肆、建議事項	(頁次 32)

參加2011年 Aeromat 航太用鈦合金會議暨商展出國報告

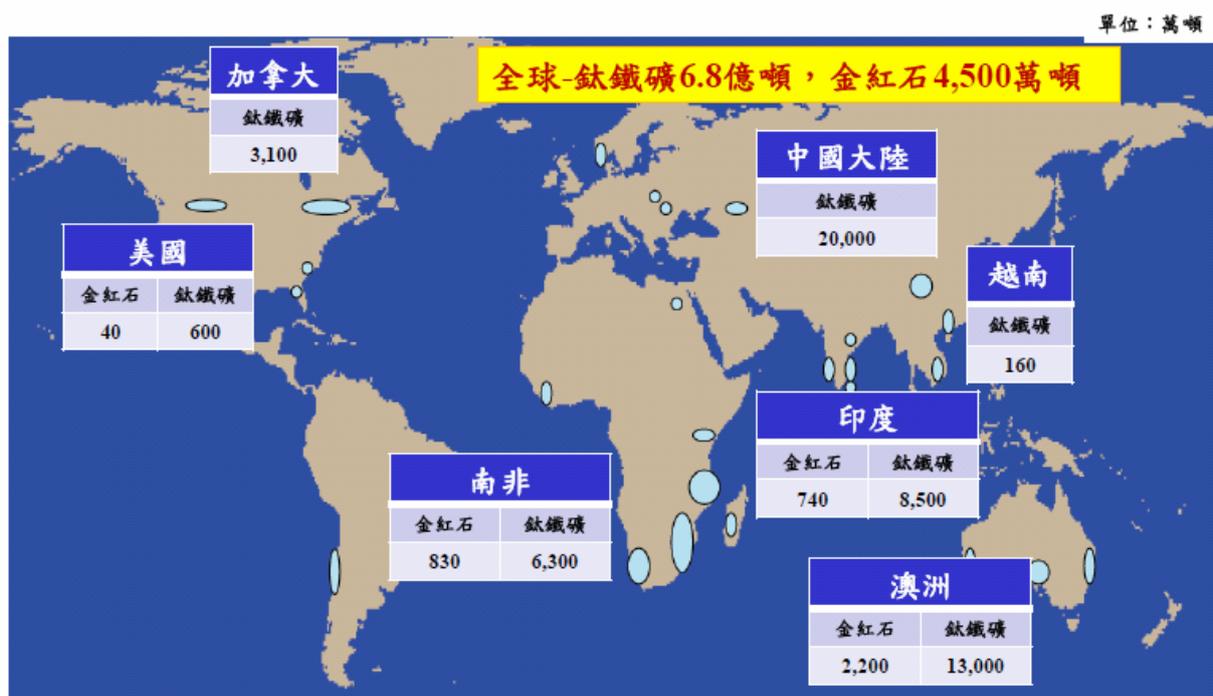
壹、目的

一、緣由

為執行 100 年度「工業服務計畫」，擬派員赴美國參加 2011 年 Aeromat 航空暨鈦合金會議，並參觀鈦合金商展，以瞭解鈦合金在製程和表面處理上之最新技術發展及鈦合金各種應用與未來可能的發展趨勢，並藉由參與國際會議之機會，與國外學者專家進行交流，吸取先進國家在鈦合金之研發經驗，俾利後續研究發展方向規劃參考。

二、鈦金屬介紹

鈦金屬在地殼上的儲存量極為豐富，地殼中鈦的含量約為 0.46%，在結構金屬位居第四位，僅次於鐵、鋁、鎂，根據圖 1 美國地質調查局資料顯示全球鈦鐵礦 6.8 億噸；而生產鈦金屬的原料金紅石(Rutile)約 4500 萬噸。全球產量每年 20 萬噸；每噸售價 10,000 美元。



資料來源：美國地質調查局(2010)/金屬中心產業研究組整理

圖 1. 全球鈦原礦蘊藏分布情形。

鈦合金產業鏈可由最原端的海綿鈦，海綿鈦為各種鈦合金成品的原料可用於製造鈦錠、鈦鐵合金與鈦合金粉末等中間製品原料；其中鈦鐵合金多用於鋼鐵材料的添加材料，國內以中鋼為使用者大宗；鈦粉末則以此次商展的主要產品主要用於汽車(連桿/閥門)；2006年國內鈦合金產值達歷史性的高峰 2.7 億美金，主要因為高爾夫球頭的鈦鑄造產品；由圖二可知鈦合金目前主要用於航太用的鈦錠與鈦加工材，未來發展方向則以節能與建築用途的鈦合金材料。此次研討會主辦單位除了美國材料學會(ASM)外，也包含了世界鈦合金領導廠商 TIMET 與 ATI 等國際大廠的參予，如圖三所示。因此此行就鈦金屬方面目的共有以下幾點：

- 1.鈦金屬合金設計技術資料收集；
- 2.鈦合金粉末技術；
- 3.鈦合金二次加工技術；
- 4.未來發展趨勢。

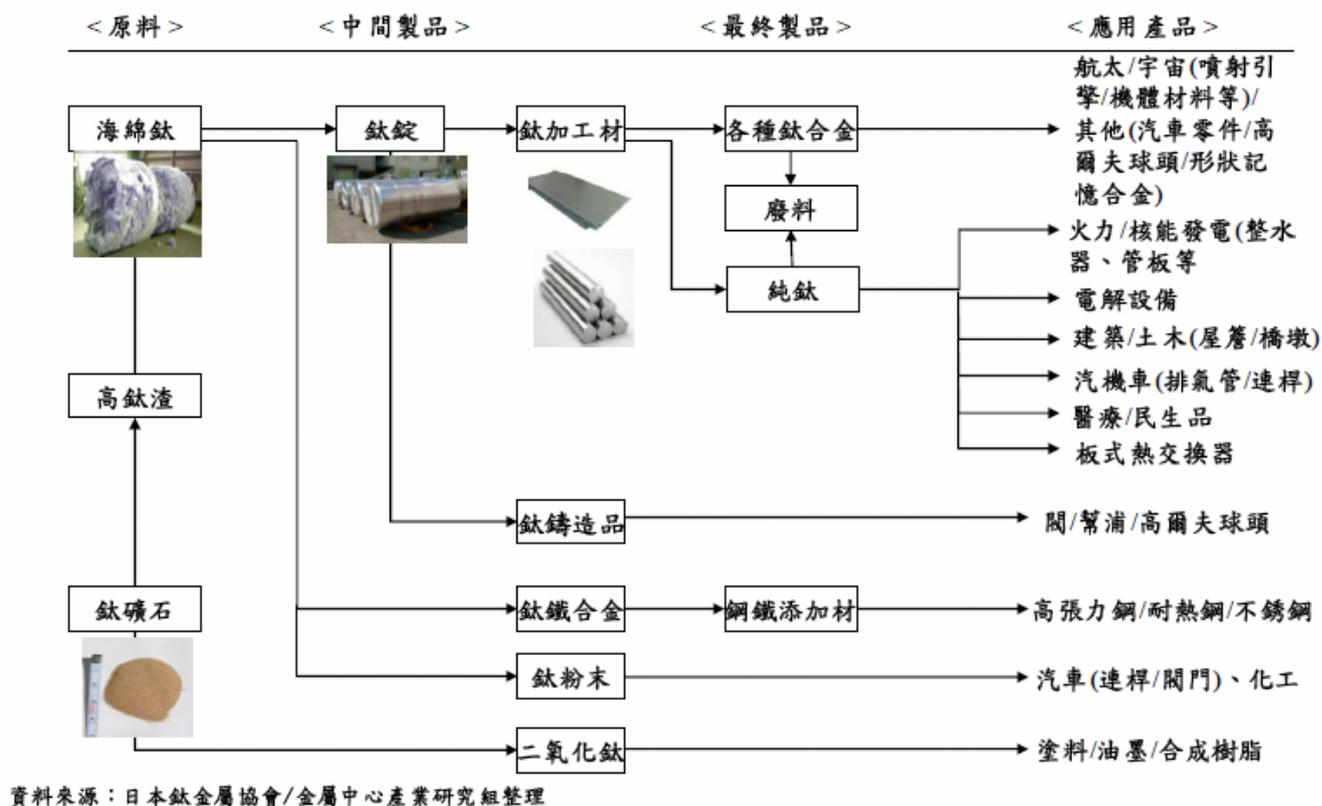


圖 2. 鈦金屬產業鏈。

國家	廠家名稱	產品類別			
		海綿鈦	鈦鑄錠	加工材	鑄件
美國	TIMET	√	√	√	
	RTI		√	√	
	ATI	√	√	√	√
歐洲	TIMET U.K.			√	√
	DEUTSCHE TITAN(德) ThyssenKrupp Titanium		√	√	
	TITANIA S.P.A(義大利)			√	
	Valtimet(法)			√	
	TIMET SAVOI(法)		√	√	
	VSMPO-AVISMA(俄)	√	√	√	
	VILS(俄)		√	√	
	TMK(哈薩克)	√			
	ZAPOROZHYE(烏克蘭)	√			

資料來源：金屬中心產業研究組整理

圖 3. 歐美鈦金屬主要廠商。

三、晶圓切割線高強度鋼材

2011 Aeromat 航空暨鈦合金會議，除了探討鈦合金最新技術發展外，另一會議主題則為高強度鋼材技術發展，本所目前與鈺成、中鋼、兆晶公司為首七家廠商合作開發晶圓切割線，成立晶圓切割用電鍍鑽線鋸研發聯盟，國內產值 360 億元以上，規劃廠商委託本院研究計畫金額達 1500 萬元，所用即為高強度鋼材。參予此會議收集國外高強度鋼線材技術發展趨勢，有利於後續與廠商技術合作之工作。

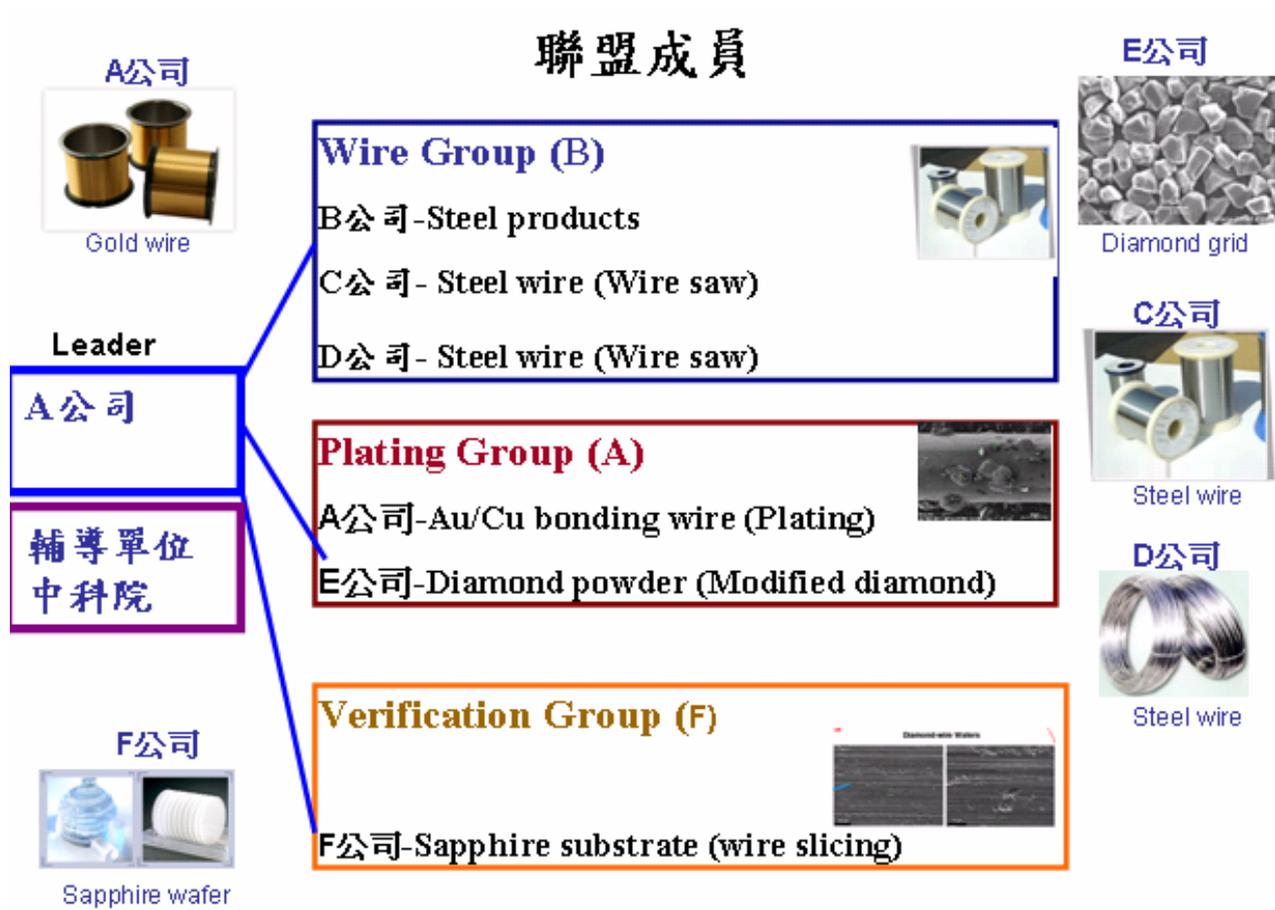


圖 4. 晶圓切割用電鍍鑽石線鋸聯盟成員。

貳、過程

一、研討會與商展簡介

2.1.1 2011 年 AeroMat 研討會

對於航太產業的不同部門、半成品的製造商和供應商來說，參加 AeroMat 會議是每年的一件盛事。2011 年會議的主題為「鈦合金—未來的材料」，會議中將發表各種鈦合金技術與相關的應用，連同未來可能的發展—使得未來的產品更輕、更好且更省能源。

會議技術主題：

- 創新複合材料結構
- 高溫材料
- 高強度鋼

- 鈦合金及其冶金
- 鈦合金製造技術
- 銲接與接合
- 新型材料與製程
- 超高塑性成形與擴散接合
- 輕量化材料
- 航太用熱噴塗技術

會議議程: (紅色字體表示此次參加的議程)

5/23	5/24		5/25		5/26 訓練課程
	上午	下午	上午	下午	
高強度鋼議題 1: 高強度鋼 I 08:00-10:00	高強度鋼議題 2: 高強度鋼 II 08:00-10:00		新興材料與 製程議題 3: 電鍍製程 08:30-11:30	新興材料與 製程議題 4: 高分子,複合 材料與奈米 材料 13:30-17:00	飛機機身設 計 08:30-16:30
輕金屬議題 1: 輕金屬製程 I 08:30-12:00	新興材料與製 程議題 1: 噴覆製程 08:30-11:30	新興材料與 製程議題 2: 製程 13:00-15:00	鈦合金冶金 議題 3: 鈦合金製程 I 08:30-12:00	鈦合金冶金 議題 3: 鈦合金製程 I 13:30-16:30	節能金屬 08:30-16:30

<p>模擬技術發展與 認證議題 1:</p> <p>高溫材料模擬 I</p> <p>08:30-12:00</p>	<p>鈦合金冶金議 題 1:</p> <p>鈦合金冶金 I</p> <p>08:30-11:30</p>	<p>鈦合金冶金 議題 2:</p> <p>鈦合金冶金 II</p> <p>13:30-17:00</p>	<p>輕金屬議題 4:</p> <p>結構功能改 善 III</p> <p>08:30-11:30</p>	<p>銲接議題 2: 接合技術</p> <p>13:30-16:30</p>	<p>微觀組織</p> <p>08:30-16:30</p>
<p>超塑性成形與擴 散接合議題 1:</p> <p>超塑性成形材料 與製程 I</p> <p>08:30-12:00</p>	<p>輕金屬議題 2: 結構功能改善 I</p> <p>08:30-12:00</p>	<p>輕金屬議題 3:</p> <p>結構功能改 善 II</p> <p>13:00-15:00</p>	<p>模擬技術發 展與認證議 題 4:</p> <p>殘留應力,加 工模擬</p> <p>08:30-11:30</p>		<p>鈦合金</p> <p>08:30-16:30</p>
<p>銲接議題 1:</p> <p>21 世紀先進銲接 技術</p> <p>08:30-11:30</p>	<p>模擬技術發展 與認證議題 2: 新合金與關鍵 組件發展最佳 化 I</p> <p>08:30-12:00</p>	<p>模擬技術發 展與認證議 題 3: 新合金與關 鍵組件發展 最佳化 II</p> <p>13:30-17:00</p>	<p>銲接議題 2: 製程議題</p> <p>08:30-11:30</p>		<p>複合材料</p> <p>08:30-16:30</p>
<p>全體出席的專題 演講</p> <p>13:15-17:20</p>	<p>高溫引擎材料 議題 2: 高溫材料限制</p> <p>08:30-11:30</p>				

2.1.2 2011 年 AeroMat 商展

今年 AeroMat 商展是在 5 月 23—25 日舉辦。此項展覽每次均吸引航太業界代表及研究人員參加。本次有下面的主題館包括下面的主題館：1.鈦合金粉末, 2.熱處理, 3.測試, 4.銲接和接合主題館, 5.航太主題館。參訪重點在鈦合金粉末、熱處理、銲接和接合以及測試等，並與參展廠商專家交換意見，瞭解金屬製品的製程技術和應用。

2.1.3 2011 年 AeroMat 鈦合金短期訓練課程

由波音退休工程師 Rodney R. Boyer 講解鈦合金於航太產業的應用與特性。主要講解內容

1. 鈦合金原料至成品的製程介紹。
2. 鈦合金金相組織介紹。
3. 鈦合金二次加工製程介紹。

二、研討會內容

2.2.1 鈦合金合金設計

鈦合金為 21 世紀的節能金屬，因應全球輕量化需求，追求強度/重量比值較高的金屬來達到節能減碳的需求為材料開發的趨勢。因此新型鈦合金的發展在此次研討會中也有許多論文的發表。目前商業化的鈦合金以 Ti6Al4V- $\alpha + \beta$ 群組最為廣泛應用，佔所有鈦合金生產比例超過 50%。此次研討會新型的鈦合金為 Ti555.3 與 TIMET 所開發的 54 M 最為顯目。

Ti555.3 鈦合金金屬屬於介穩定(metastable) β 相結構；Ti54M 與 Ti6Al4V 則同屬於 $\alpha + \beta$ 兩相區的結構，表 1 顯示出三種鈦合金的化學成分差異，隨著穩定 β 相元素的添加可降低 β 相的轉換溫度與機械性質的提升。三種鈦合金在相圖中的位置，如圖 5。

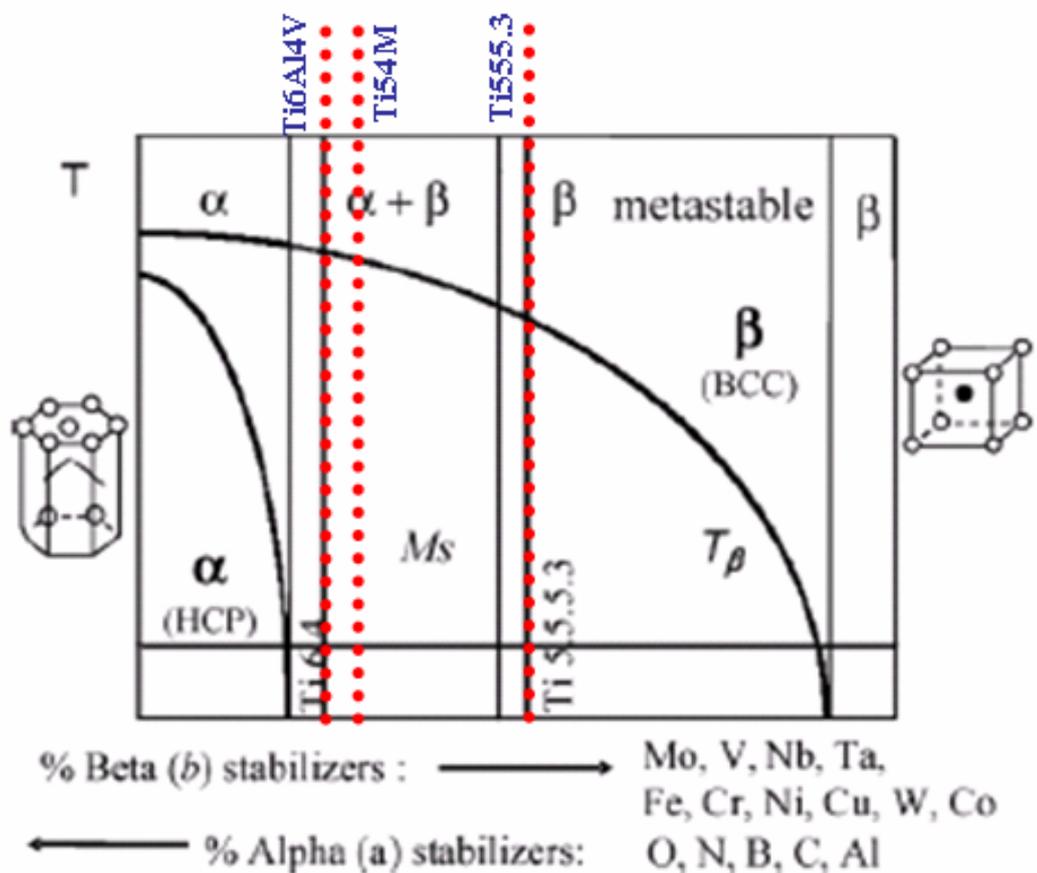


圖 5. 鈦合金相圖。

表 1 三種鈦合金化學成分與機械性質比較表。

Alloy	化學成分(%)					Al equiv(%)	Mo equiv(%)	UTS (MPa)	TYS (MPa)	Elongation (%)	Transus beta (°C)
	Al	Mo	V	Fe	Cr						
Ti6Al4V	6.6		4.1			7	3	970	900	13	995
Ti54M	5.1	0.7	4	0.5		5.5	4.9	971	892	16.5	965
Ti555.3	5	5	5	0.3	3	5	19	1200	1050	10	860

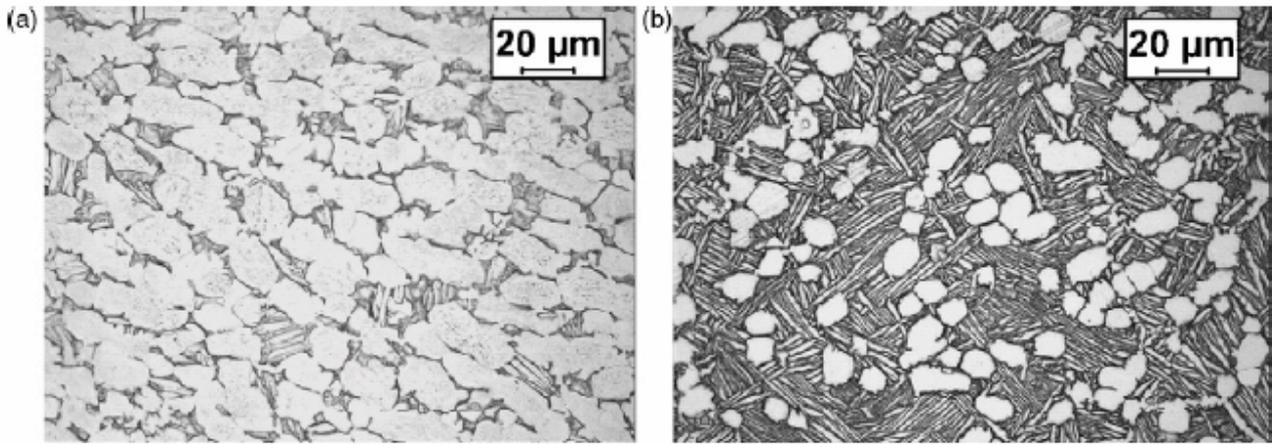


圖 6. Ti6Al4V 與 Ti54M 鈦合金金相顯微組織形貌。

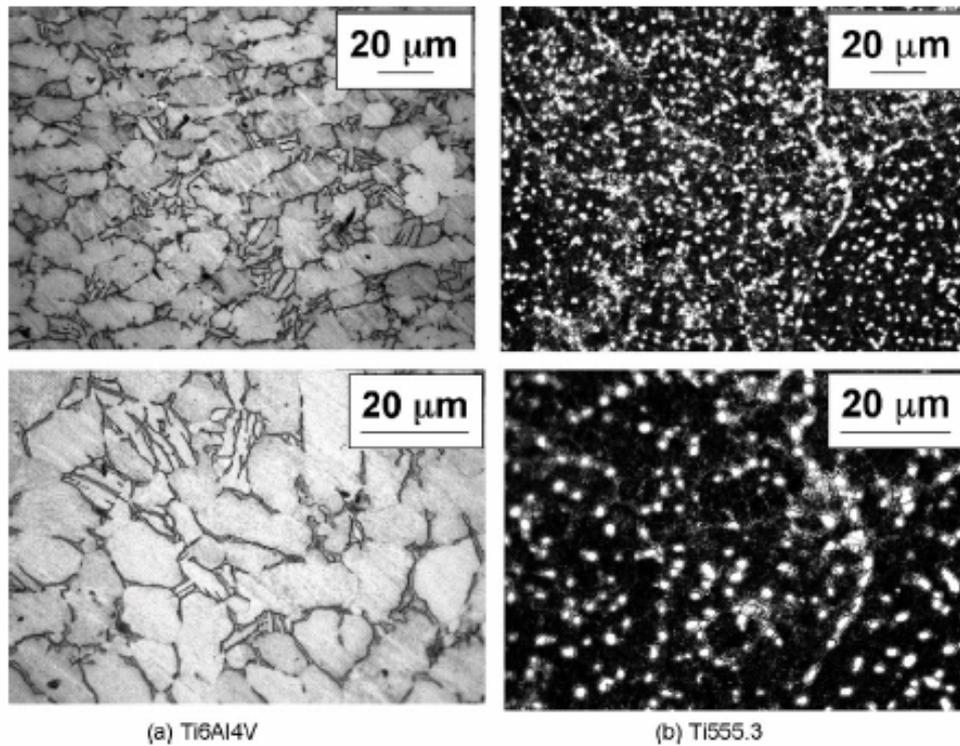


圖 7. Ti6Al4V 與 Ti555.3 鈦合金金相顯微組織形貌。

Ti54M 與 Ti6Al4V 則同屬於 $\alpha + \beta$ 兩相區的結構，由微觀組織形貌觀察皆屬於等軸 α 相散佈在轉變 β 相基材的混合組織形貌，進一步觀察得知兩者差別在於 α 相組織形貌與晶粒大小，Ti6Al4V 鈦合金中 α 相呈現 $20 \mu\text{m}$ 大小的板狀(lath like)晶粒；Ti54M 鈦合金中 α 相呈現 $10 \mu\text{m}$ 大小的板狀(lath like)晶粒，如圖 6。Ti555.3 鈦合金則由球形(global)殘留 α 相沿著費德曼(Widmanstätten)組織排列，如圖 7。圖 8-9 顯示出在不同切割轉速下工具頭的側向磨耗(flank wear,

VB)，Ti6Al4V、Ti54M、Ti555.3 分別可忍受的最大轉速為 80 m/min、90 m/min、45 m/min；因此就材料磨耗性質而言，Ti555.3 > Ti6Al4V > Ti54M，而材料加工度則以 Ti54M 鈦合金最佳；相對於 Ti6Al4V 材料移除率而言，Ti54M 材料移除率可增進 10-15%。但 Ti555.3 的可加工度大概僅有 Ti6Al4V 的 56%。

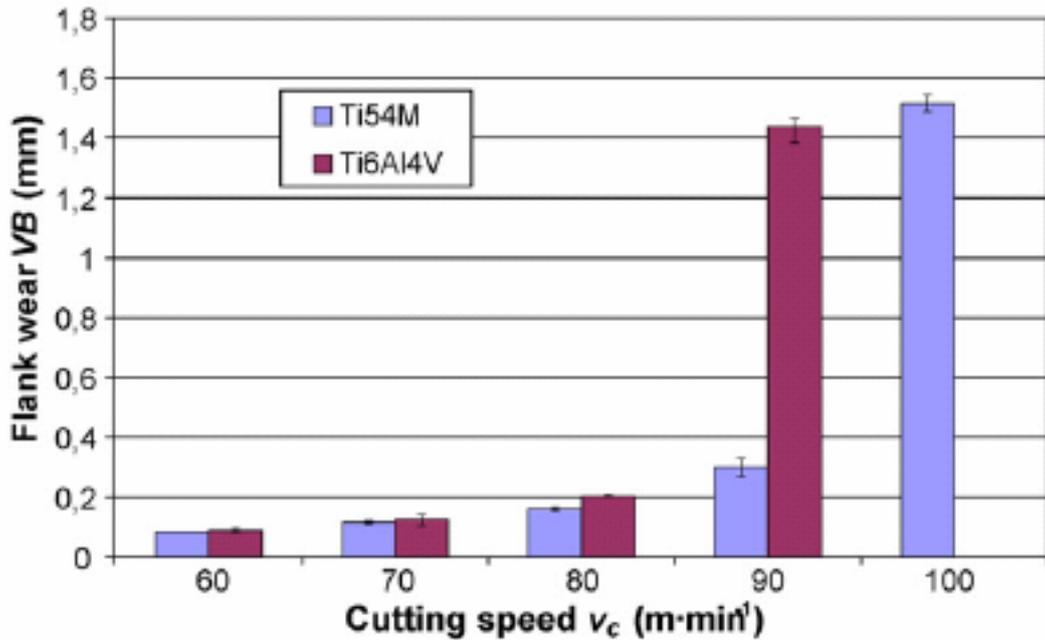


圖 8. Ti6Al4V 與 Ti54M 鈦合金金側向磨耗測試圖。

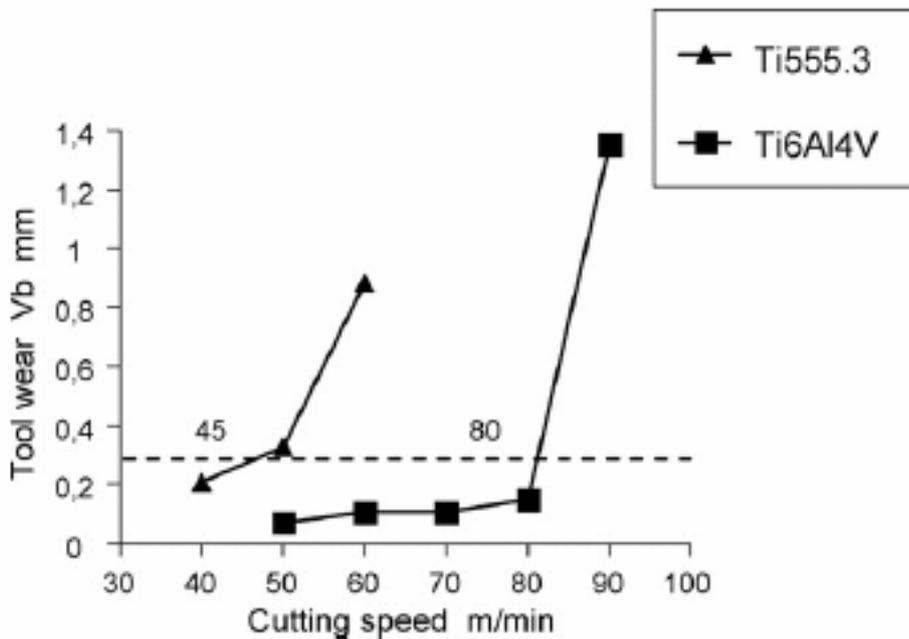


圖 9. Ti6Al4V 與 Ti555.3 鈦合金金側向磨耗測試圖。

1.2.2 鈦合金二次加工製程

鈦合金的提煉過程以 Kroll process 為例，如圖 10。由原料金紅石(Rutile)或鈦鐵礦(Imenite)，經氯化處理後得到一種揮發性的液體-四氯化鈦。在密閉的鐵製反應室和鎂金屬混合，因為鎂金屬的活性比較大可以將其還原成鈦金屬化狀態。從反應中得到的純鈦即為海綿鈦，熔融後的鈦可以鑄成錠。因為鈦的活性太大，高溫時的活性特別大會吸收空氣中的氧和氮，只要有 1%的氣體就會毀壞其鍛造性，製造過程中每一個階段，必須與空氣隔離，因此必須以惰氣氣體保護或是在真空中進行。但是無法避免鈦溶解坩鍋和電爐的內部材料的氧，如氧化鋁。因此容易造成表面富含氧化物的 α case，如圖 11。

商業化的 β -type 或近似 β -type 鈦合金成形製程上，通常在 β 相轉換溫度以上進行鍛造，而在略低於 β 相轉換溫度以下完成鍛造，其目的在於兼顧 β 鍛造製程的良好成形性及 $\alpha + \beta$ 製程鍛件在延性及強度上的優點；但是此種製程方式容易在中間變形製程階段產生因為應變導致而生成的孔洞(Strain Induced Porosity, SIP)而影響其機械性質。ATI 為了解決此種問題，提出了新的製程構想-整個變形過程中都在 β 相轉換溫度以上操作，減低了上述因素的影響。具體的作法為先在 β 相轉換溫度溫度以上 T1 溫度下進行變形，然後再加高溫度至 T2 持溫，使得再結晶動作可以進行，減低變形時所殘留的應變，最後在 T1 以下 β 相轉換溫度溫度以上完成最後成形，如圖 12。

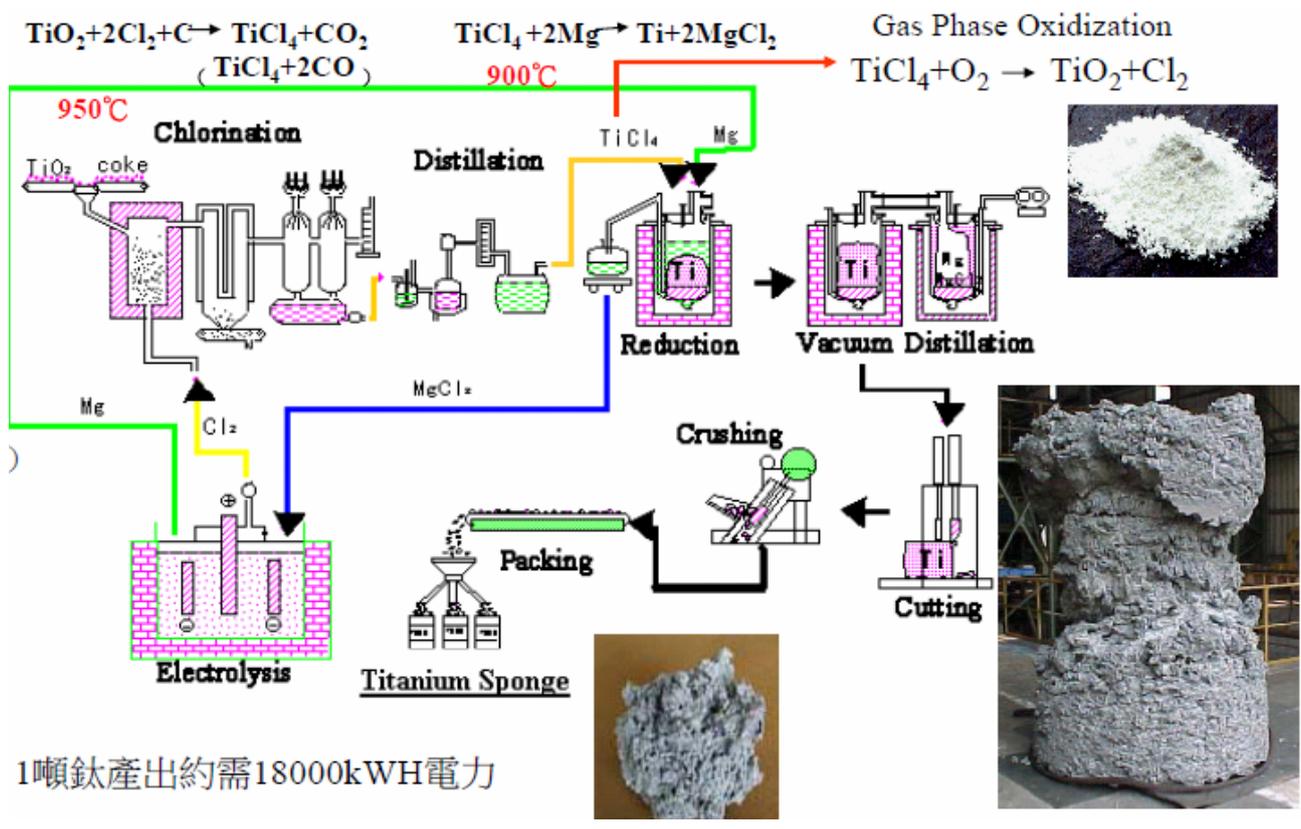


圖 10. 純鈦的提煉過程。

Ti-6Al-4V ELI鍛件表面 α case

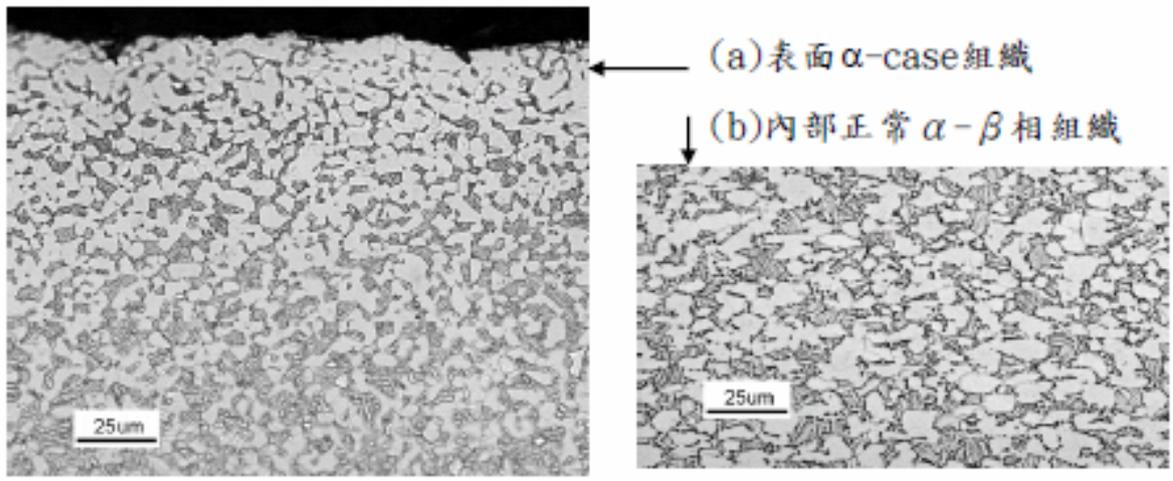


圖 11. 鈦合金表層的 α case。

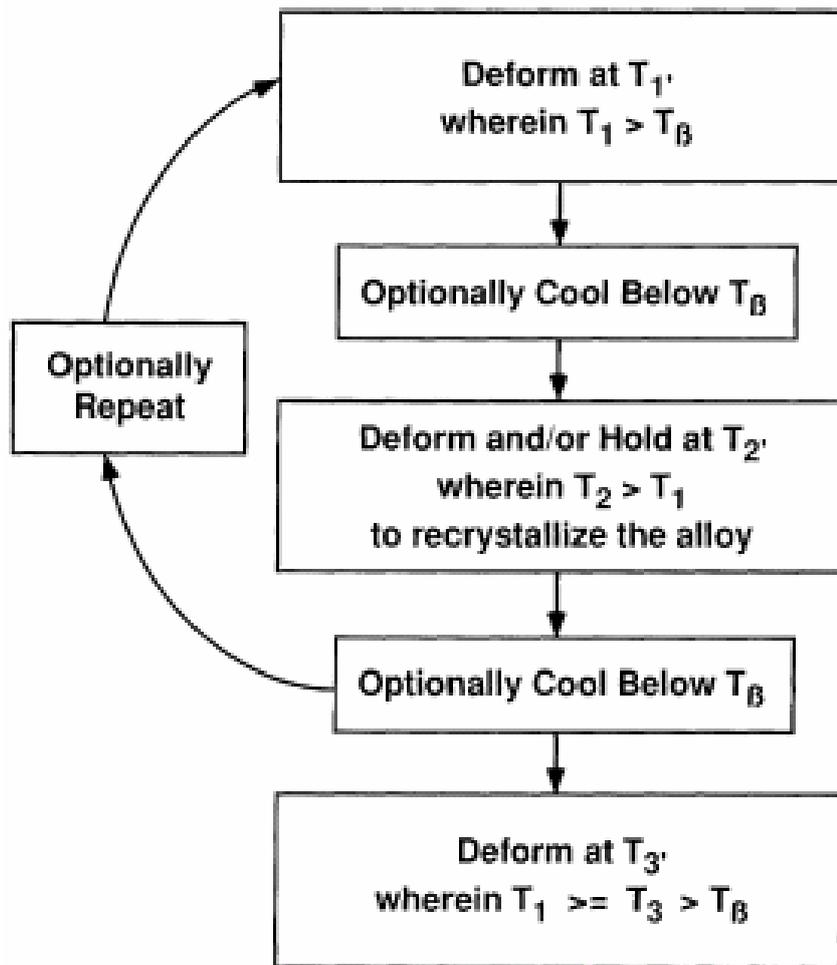


圖 12. ATI 發表的製程專利。

2.2.3 鈦合金在航太上的應用

β -type 鈦合金由於高強度、耐疲勞性佳及易於加工等性質，因此在發展上極具潛力。但是也存在有偏析、難以銲接等缺點。然而 β -type 鈦合金依然應用在許多用途上，如圖 13 所示由 Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 鈦合金所製成的轟炸機尾翼，其材料抗拉強度可達 1034 MPa， β -type Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 鈦合金更可達 1193 MPa，現已取代高強度低合金鋼 4340 應用於波音 777 客機上環節、梁柱上；在減重應用上原本的鋼製彈簧重量 4.35 公斤，以鈦合金取代重量則變為 1.45 公斤，如圖 14； β -type 鈦合金也大量應用於商用客機(波音 757, 767, 777)窗戶結構上，如圖 15。 $\alpha + \beta$ type 鈦合金，如商業化最常見的 Ti6Al4V 則應用於 EJ200 Eurofighter 的壓力蓋上，如圖 16。

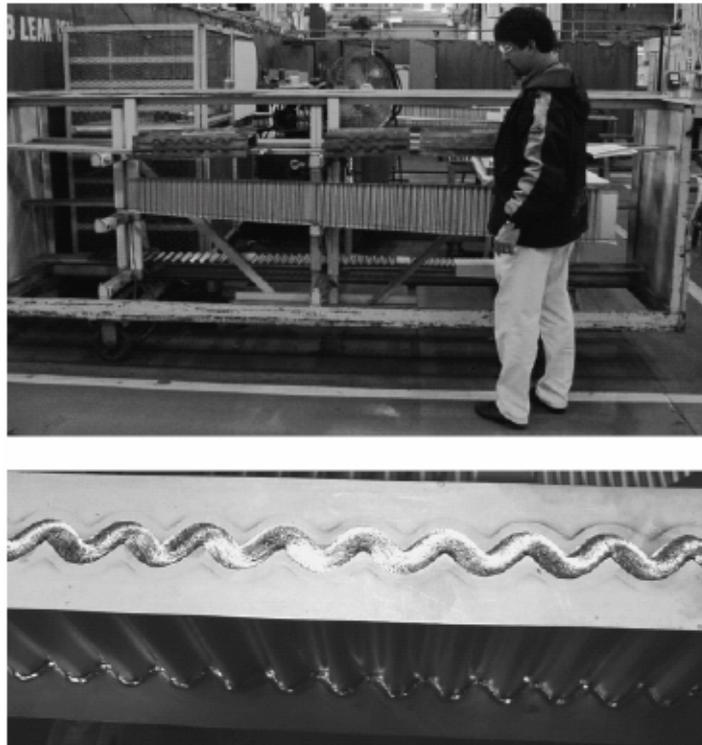


圖 13. Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 所製成的轟炸機尾翼。



圖 14. 鈦合金與碳鋼所製程的彈簧分別位於圖中的左側與右側。



圖 15. β -type 鈦合金在空中巴士窗戶結構上的應力。



圖 16. $\alpha + \beta$ type 鈦合金在壓力蓋上的應用。

1.2.5 高強度鋼線材模擬技術

可預測高強度鋼材在抽線過程中斷裂的模擬技術在此次研討會中也被討論，一般而言在抽線過程中可控制的變數為鑽石眼膜的角度與斷面收縮率的控制，除此之外還有一些無法決定的因素，因此導致模擬的技術無法立即應用於抽線技術上；最近 Singh 等人將這些因素看成與流變應力有關的壓力因素而解決的此問題。致使有限元素分析法可以用於模擬抽線技術上，由巨觀模擬上可看出材料在不同部位受到的應力分布，如圖 17；另一方面也可以進一步模擬在微觀上不同組織所受到的力分布，如圖 18。

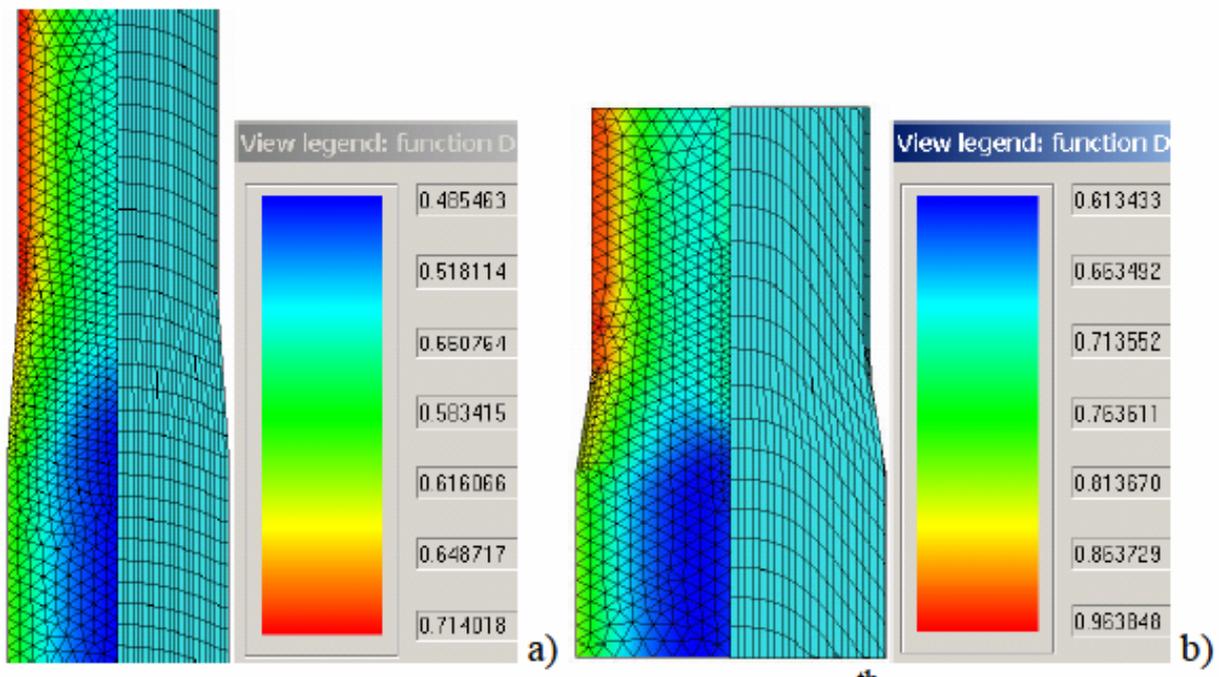


圖 17. 巨觀上高強度線材在抽線過程中受到的應力分布。

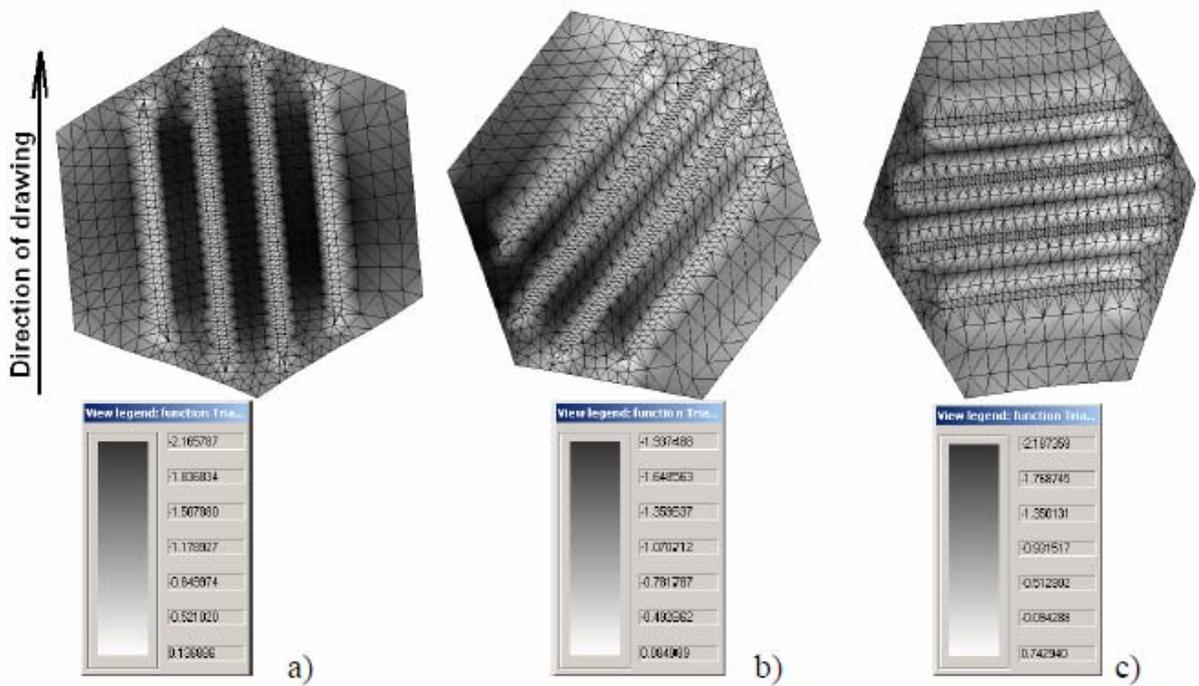


圖 18. 微觀上高強度線材在抽線過程中受到的應力分布模擬。

三、商展內容

2.3.1 可攜帶式 X 光繞射儀

此次商展展示了可攜帶式的 X 光繞射儀，如圖 16，並且可以用於量測殘留應力，相關設

備規格如表 2 所示。除了可以更換不同的角度移動儀來控制不同的聚焦距離外，使用 PSSD 專利技術的接受器更可以使接收的訊號不至於減弱。

表 2. iXRD 規格說明表。

項目	規格
重量	14.7 kg
尺寸	41*29*19 cm
操作溫度	0°C-35°C
角度調整(Goniometer)	手動或自動
接受器(Detector)	PSSD
2θ 範圍	123°-171°

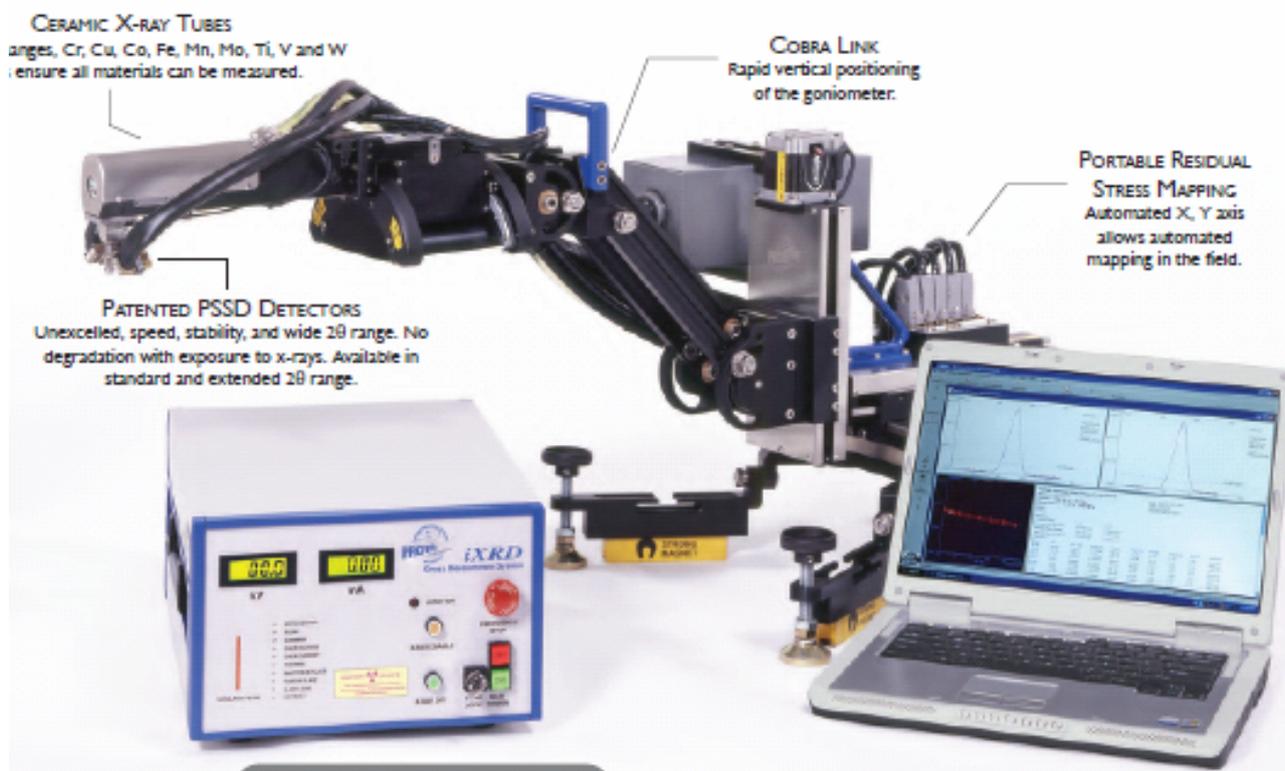


圖 19. 可攜帶式 x 光繞射分析儀。

2.3.2 電子束熔融設備

Arcam 所發表的電子束熔融設備 EBM S12，如圖 20；相關技術規格，如表 3。其作動原理，如圖 21，當燈絲加熱超過 2500°C 而放出熱電子，電子通過正極時會被加速，兩旁的磁性線圈可用於控制電子的方向與聚焦，使電子束可以精準聚焦到粉末上，所撞擊的動能會立刻轉換成熱能，而達到熔融粉末的目的。Arcam 更進一步將 CAD 模型的功能整合至電子束熔融設備內，因此電腦內的 3D 模型可經由電子束熔融製程立即變成產品，如圖 22；利用此種方法製作的產品-鈦合金的火箭推進器、鈦合金植入材的凸緣、鈦合金骨頭平板、鈦合金頭骨蓋及汽車用的懸吊系統，如圖 23。



圖 20. Arcam 所發表的電子束熔融設備。

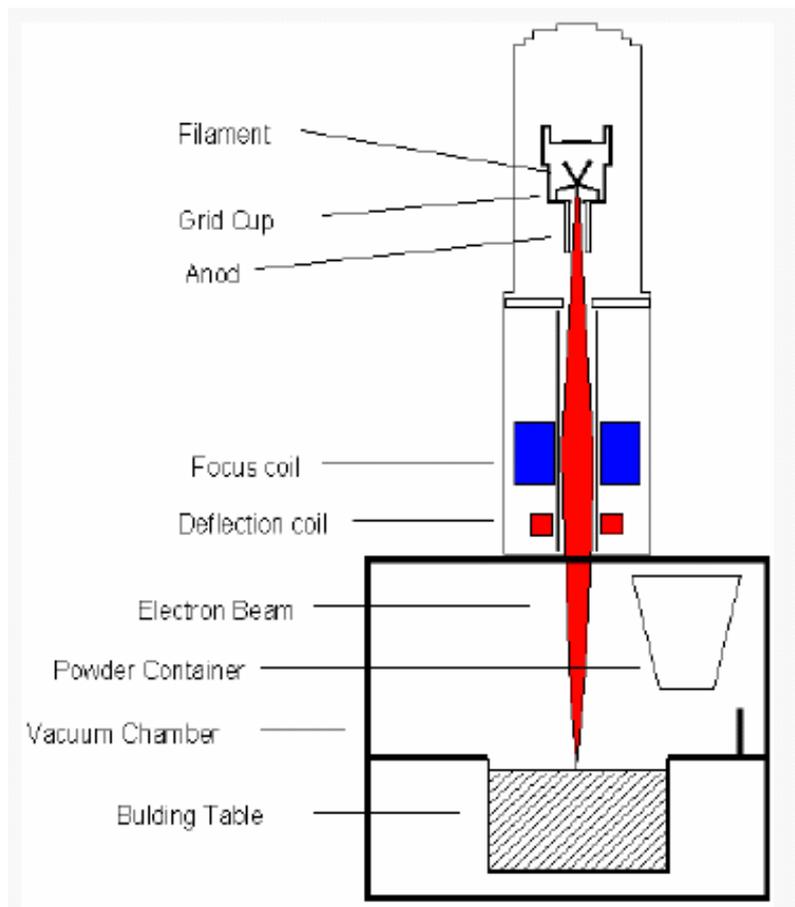


圖 21.電子束熔融作動原理。

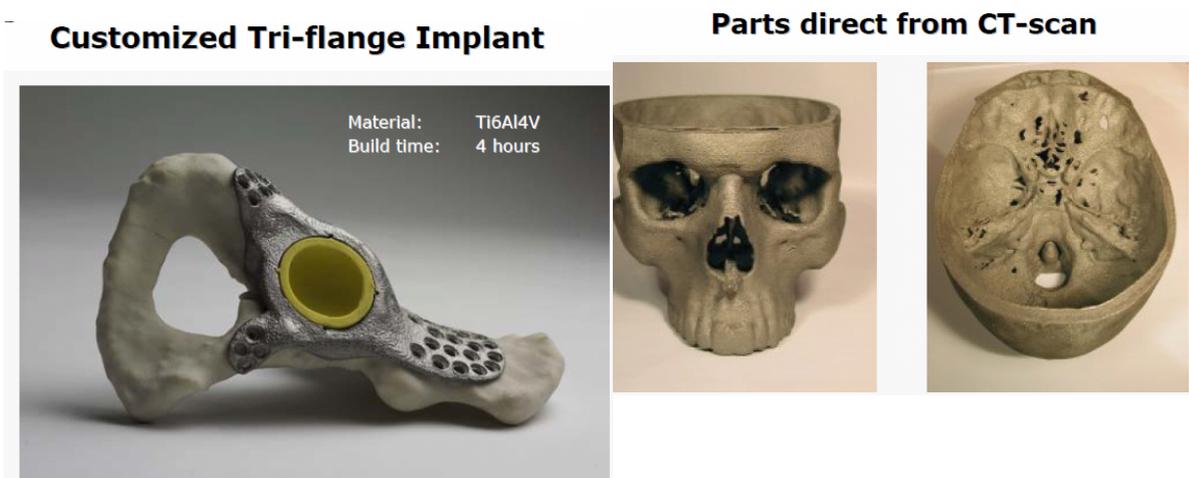
表 3. Arcam 所發表的電子束熔融設備規格。

Arcam EBM[®] S12 Technical Data

Building tank volume	250 x 250 x 200 mm
Maximum build size	200 x 200 x 180 mm
Accuracy	+/- 0.4 mm
Melting speed	0.3-0.5 m/s
Layer thickness	0.050- 0.200 mm
EB scan speed	> 1000 m/s
EB positioning accuracy	+/- 0.05 mm
Max EB output	4 kW
Power supply	3 x 400 V, 32 A, 7 kW
Machine size	Approx. 1800 x 900 x 2200 mm
Weight	1350 kg
Process computer	PC / XP Professional
CAD interface	Standard: STL
Network	Ethernet 10/100
Certification	CE



圖 22. Arcam 所發表的電子束熔融設備作動模式。



Customized Bone Plate



Material: Ti6Al4V
Size: 5 x 20 x 55 mm
Weight: -
Build time: 3 hours / 6 pieces



Race Car Suspension Parts



Material: Ti6Al4V
Size: 160 x 210 x 105 mm
Weight: 1130 grams



圖 23. 使用 Arcam 電子束熔融設備所製作的產品。

參、心得

參加 2011 Aeromat 鈦合金暨商展心得可就新型鈦合金材料設計、鈦合金的加工製程、高強度鋼模擬技術與商展內容進行討論:

1. 經由此次研討會的參加與討論，進一步了解鈦合金技術發展與高強度鋼線材模擬技術，並與國際專家交流討論，對於本院現正規劃之工業服務計畫-晶圓切割線有更深入的規劃與未來計畫推廣及執行有重要參考價值。
2. 鈦合金目前應用於國防航太產業的產品-轟炸機尾翼與火箭引擎零組件、波音 777 客機梁柱上與窗戶樑柱結構上與鈦合金彈簧，減重效果卓越，如能推廣至國內航空業與車輛產業，可藉此提升航太產業與汽車產業的競爭力。
3. 國際大廠 TIMET 所發表的 Ti54M 鈦合金就加工度上的確可以替換商業化 Ti6Al4V，優於 10-15%；另一方面 Ti555.3 鈦合金在材料加工度上無法與 Ti6Al4V 競爭，但其優良的磨耗性質可應用耐磨耗性質上的應用。
4. 鈦合金提煉製程中遭遇最大的挑戰為鈦活性過高容易親氧效果，所以表面易造成 α case 的氧化物；另一方面 ATI 新的鈦合金成形製程-在 β 相轉換溫度以上進行加工成形，藉此來克服應變誘使孔洞現象的發生。
5. 現今的有限元素分析法可以模擬抽線過程中的巨觀與微觀應力應變分析，來解決抽線過程中斷線的現象。對於本院現正規劃至晶圓切割線技術上規劃有極大的助益。
6. 商展部份-可攜帶式 X 光繞射儀進行殘留應力分析，兼具使用方便與簡易性；另一方面 Arcam 公司所生產的電子束熔融粉末設備結合快速成形的概念，經由 3D CAD 模型與電子束高能量的優勢，於研發階段可快速生產鈦合金粉末的商品。

肆、建議事項

1. 此次鈦合金國際大廠 TIMET 與 ATI 發表了許多新型鈦合金的材料，就鈦合金合金技術發展趨勢朝著低成本、加工度佳與耐磨耗性方向進行開發。而就本院角度而言，應朝向 β -type 的合金設計方向發展，但與此同時須考量到後續加工後強度是否符合需求，因此建議朝原材料為 β -type，而須靠後續的熱處理使其最後落於 $\alpha + \beta$ 兩相區內，方可保存彼此的優良性質。
2. 抽線過程中的巨觀與微觀應力應變行為在有限元素分析法已經進行此類的分析工作，本院現今進行晶圓切割線的開發，除了抽線製程外，韌化處理製程更是關鍵技術所在，如能建立由熱處理端至抽線製程整套的模擬製程技術，可成為國際細線領域中技術領先者。
3. 鈦合金未來可應用於能源與耐腐蝕上的用途，如取代不銹鋼進行海水淡化管件的材料、海洋溫差發電的鈦合金交換器、核能發電用低壓斷凝氣的發動機葉片、冷卻管。