

行政院及所屬各機關出國報告

經濟部國際合作處

九十二年度中俄技術合作計劃 擴散接合技術研習報告

服務機關：金屬工業研究發展中心銲接組

出國人職稱：副工程師

出國人姓名：汪立德

出國地區：俄羅斯

出國期間：2003/11/02-2003/12/04

報告日期：2004/01/07

I^o/C09300070

行政院及所屬各機關出國報告提要

系統識別號：C09300070

出國報告名稱：擴散接合技術研習報告

出國計劃主辦機關：經濟部國際合作處

聯絡人：林春億

電話：02-23212200 ext 598

出國人員姓名：汪立德

服務機關：金屬工業研究發展中心

單位：銲接組

職稱：副工程師

電話：07-3513121 ext 2512

出國類別：研習

出國期間：2003/11/02-2003/12/04

出國地區：俄羅斯

報告日期：2004/01/07

分類號目：

關鍵詞：擴散接合

內容摘要：

擴散接合係指在高溫與高壓的作用下，使工件欲接合面能相互緊密接觸，局部發生塑性變形現象，在經一段時間後使接合層原子間相互擴散，進而形成整體的可靠接合過程。擴散接合的主要製程參數有：溫度(高溫)、壓力(高壓)、時間(長時間)、真空環境(高真空度)及高界面狀態要求(光滑平整)等，由於以上嚴苛製程條件的限制，使得傳統擴散接合製程技術需要極高之產製成本，故以往此製程技術皆應用於具高價位及低量產特性之航太產業。

擴散接合近來受到相當的重視，並且被列入高科技出口管制項目(多國出口聯合管制協調會之{國際工業清單第 1B-3 號及 2E-3 號，美國商業管制清單第 1B03A 號及 2E03A 號});採用擴散接合技術所獲得的經濟效益可由歐洲空中巴士 A300 民航機實例顯出，在 A300 機翼下方 10 個起落片支撐架利用擴散接合製程可減輕機體 100 公斤之重量，每年飛行成本可減少 400 萬台幣。最近在微機械組件之製造技術中，擴散接合也提供潛力之應用方向，另外吸引之處就是擴散接合應用在陶瓷材料接合提供了一個優異的解決方案，使陶瓷引擎之開發更接近成功的應用的範疇，而利用擴散接合製作各種異種材料複合鋼板亦已經商品化，利用擴散接合可以使材料接合更趨近完美的境界。

本文電子檔案已上傳至出國報告資訊網

目錄

- (一) 誌謝
- (二) 前言
- (三) 擴散接合簡介
- (四) 擴散接合製程
- (五) 擴散接合製程控制參數
- (六) 擴散接合實驗設備
- (七) 鋼材擴散接合實驗
- (八) 鈦金屬板材擴散接合實驗
- (九) 異種金屬擴散接合製程
- (十) 銅鋁異種金屬擴散接合實驗
- (十一) 非金屬擴散接合製程
- (十二) 技術現況與應用趨勢
- (十三) 結論與心得建議
- (十四) 參考文獻

誌謝

本次非常感謝經濟部國際合作處給予本人這個機會赴俄羅斯莫斯科研習擴散接合技術，歐亞組提供我非常多的協助，感謝金屬中心銲接組給予我這個研習機會，另感謝經濟部駐俄羅斯經濟組曹組長四洋先生以及廖秘書浩志先生協助安排生活事宜，並感謝俄方接訓單位ICTC之Project Manager Mr.Andrey DANILIN協助安排相關訓練事宜，使的本次技術研習順利完成，本人特此致謝。

前言

近年來隨著材料科學的發展，新材料不斷出現，故在生產應用中經常遇到新材料本身或與其它材料的接合問題。一些新材料，如陶瓷、金屬間化合物及單晶合金等，若採用傳統熔鐸方法將很難實現可靠的接合。此外，一些特殊高性能構件的製造，往往要求將性能差異較大的異種材料，如陶瓷與金屬、鋁與鋼、鈦與鋼及玻璃與金屬等接合在一起，採用傳統熔鐸方法也難以實現。由此可知，此類新材料接合所涉及的範圍遠遠超出傳統熔鐸的概念。為了適應與符合此類新材料接合的性能要求，近年來屬於固態接合方法之一的擴散接合製程技術已引起鐸接界的高度重視，並成為鐸接領域中新興的研究重點。

傳統擴散接合技術必須在工作待接合面施加 $10\text{kg}/\text{mm}^2$ 以上之正向壓力，母材必須加熱至材料絕對熔點一半以上之溫度，工件待接合面亦須要求光滑平整。進行擴散接合時必須要確保工件待接合面不受外界空氣的影響，故擴散接合必須在高真空條件下或惰性氣體介質中進行接合工作，良好的製程參數設定可以使工件獲得良好之接合品質與強度，這是擴散接合製程的優點。

本次研習地點為俄羅斯的莫斯科，研習學校為 Russian-State Technology University，本校為航太相關科技訓練單位，除一般學生之外尚有代訓軍校生，本次研習共有二位教授在研習期間授課，二位

教授皆具有機與材料之背景，一位是 Dr.Olga A. Barabannova，另一位為 Dr. Igor A.RO，其中 Dr.Olga 負責理論部分，另一位 Dr.Igor 負責實際操作部分，在研習過程中由兩位教授輪流授課，另外曾經安排前往莫斯科太空科技中心參觀以及技術交流，俄羅斯對我國半導體及光電產業具有高度興趣，此行獲得許多寶貴經驗，希望能將所學利用在促進技術發展之上。

擴散接合簡介

擴散接合係指在高溫與高壓的作用下，使工件欲接合面能相互緊密接觸，局部發生塑性變形現象，在經一段時間後使接合層原子間相互擴散，進而形成整體的可靠接合過程。擴散接合的主要製程參數有：溫度(高溫)、壓力(高壓)、時間(長時間)、真空環境(高真空度)及高界面狀態要求(光滑平整)等，由於以上嚴苛製程條件的限制，使得傳統擴散接合製程技術需要極高之產製成本，故以往此製程技術皆應用於具有高價位及低量產特性之航太產業。

擴散接合近來受到相當的重視，並且被列入高科技出口管制項目(多國出口聯合管制協調會之{國際工業清單第 1B-3 號及 2E-3 號，美國商業管制清單第 1B03A 號及 2E03A 號})；採用擴散接合技術所獲得的經濟效益可由歐洲空中巴士 A300 民航機實例顯出，在 A300 機翼下方 10 個起落片支撐架利用擴散接合製程可減輕機體 100 公斤之重量，每年飛行成本可減少 400 萬台幣。最近在微機械組件之製造技術中，擴散接合也提供潛力之應用方向，另外吸引人之處就是擴散接合應用在陶瓷材料接合提供了一個優異的解決方案，使陶瓷引擎之開發更接近成功的應用的範疇，而利用擴散接合製作各種異種材料複合鋼板亦已經商品化，利用擴散接合可以使材料接合更趨近完美的境界。一般而言，擴散接合方法主要具有兩項特徵：

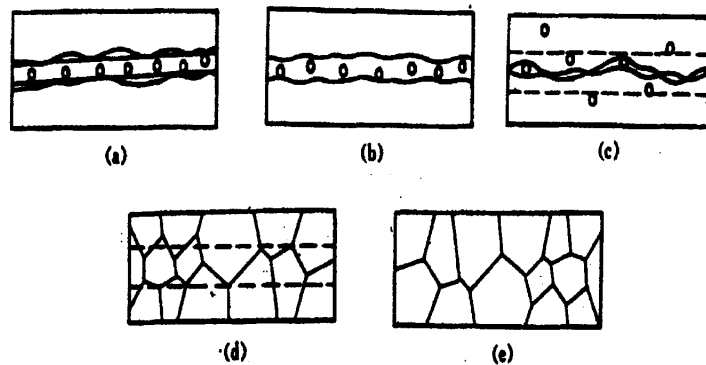
- 一、 適合耐熱材料、磁性材料、陶瓷材料及活性金屬等接合工作，且特別適合不同種類的金屬與非金屬之異種材料接合工作。根據相關報導指出在擴散接合技術研究與實際應用中，有 70%係涉及到異種材料的接合。
- 二、 擴散接合是一種高精密的接合方法，因為採用此種方法進行接合工作後，可避免鐸後產生變形的問題(尺寸精度較高)，故可實現機械加工後的精密組配。

擴散接合製程技術近年來在微機械組件之製造技術中，擴散接合製程技術也提供了高潛力之應用方向，另外其吸引人之處就是擴散接合製程應用在陶瓷材料接合提供了一個優異的解決方案，使得陶瓷引擎之開發更接近成功的應用的範疇，而利用擴散接合製程技術製作各種異種材料複合鋼板亦已經商品化，採用擴散接合製程技術可使異種材料的接合更趨近完美的境界。

擴散接合製程

擴散接合是材料在壓力與溫度作用下，經過一段時間的連接界面接觸與原子間的擴散，使之形成無空隙和無污染物的金屬鏈結合。真空擴散銲接之前，工件表面先經清洗，在真空室內組裝就位，當真空度達到標準後開始加熱，開始對工件施加壓力，待結合完成，即可將壓力釋放，回復大氣壓力下。擴散結合要獲得良好的結果，必須要有精確的工作參數如：溫度、壓力、時間、保護介質(真空條件或保護氣體)。金屬表面必定有吸附在上的氧化膜，污染物和吸附層，擴散接合就是採取將金屬界面上的空隙密合，使氧化膜及附著層的表層變形與擴散的過程。

下圖為擴散接合製程的五階段示意圖：



分別將擴散接合製程的五階段之意義解釋如下：

(a) 工件上下表面經過細微加工係，開始初部接觸，在未施加壓力的情況下，實際上兩工件實際的接觸面積只有全部面積的百分之一，

施壓後接觸面積擴，而其表面間距均大於原子間距。

(b) 溫度壓力提升的作用開始使接觸部份變形，氧化膜破碎，吸附層被擠壓，粗糙表面被擠平，接觸面因壓力之作用而擴大，此時金屬鏈局部形成連接，但仍有空隙殘留於界面上。

(c) 隨著保持壓力及溫度的時間增長，擴散過程進一步發展，在界面上原子的擴散持續進行，界面上的空隙和孔洞縮小並減少，此時形成擴散結合，界面此時開始消失，破碎的氧化膜逐步溶解。

(d) 擴散結合後期由於界面之均質化，空隙以及孔洞在界面上完全消失，而溶解及球化聚集的氧化物得以稀釋。

(e) 擴散結合完成，此工件經擴散結合至母材後的材料性質非常接近母材。

擴散接合製程控制參數

雖然擴散接合的實際操作有不同的方式，但其製程參數基本上是共通的，分別介紹製程參數如下：

一、 表面處理：由於擴散接合是經由母材表面緊密接觸，增加原子互相擴散的製程技術，所以任何影響原子擴散的因素必須去除，如氧化層、附著在金屬表面的油脂及污染物，因此在擴散接合製程之前必須將母材接合面處理，以獲得適當的平坦度及平滑度。一般來說，表面處理分為下列幾類：

- (一) 乙醇(Spirit Cleaning)
- (二) 丙酮(Acetone Cleaning)
- (三) 酸洗(Acid Cleaning)
- (四) 鹼洗(Alkaline Cleaning)
- (五) 超音波清潔(Ultrasonic Cleaning)
- (六) 精密機械加工(Mechanisms Cleaning Method)
- (七) 其他特殊化學清潔方法(Chemical Cleaning Method)

二、 溫度：主要是在擴散接合製程中提供原子擴散時所需要突破障礙的能量，同時提高溫度可以降低金屬之降伏強度，加速介面產生塑性變形而緊密接觸。基本上溫度高對於促進原子擴散、粒界移動及孔洞消失有正面效應，一般而言，擴散接合製程溫

度設定以材料熔點的 0.53 至 0.88 倍為宜。

- 三、 時間：控制良好之接合時間可以確保接合界面的緊密接觸，時間的控制非常重要，時間過短會造成接合品質不良，過長會造成材料變化的問題，因此時間為非常重要之控制擴散接合變數。
- 四、 壓力：接合壓力的作用為使母材表面之凹凸不平區域產生局部微觀塑性變形，促使接合面積緊密接觸，提高接合效果。增大壓力固然可以增加接觸面積，獲得較好的接合品製；但也可能引起母材之變形，因而失去工件尺寸。因此，接合壓力之大小宜視工件形狀、尺寸、材料性質及設備而定。
- 五、 材料因素：各種材料因不同之組成結構，如鍵結方式、結晶構造、機械性質、熱膨脹係數、氧化速度及化學性質等等，使得各種材料有不同的擴散接合性質，如適當的將材料表面活化，或添加中間層材料，可以改善接合之效果及部分製程參數，如對熱膨脹係數相差極大之材料，可以使用中間層金屬緩和熱應力，這種方式普遍應用在異種金屬及非金屬對金屬之擴散接合製程之中，對於異種金屬及非金屬對金屬之擴散接合來說，中間層金屬之選用是非常重要的製程參數。

擴散接合中間層金屬使用之接合品質比較表：

方法	中間層金屬	鐸接溫度	操作時間	壓力
擴散接合 加入中間 層金屬	在加熱過程中，加入中間金屬，中間金屬熔化之後，再等溫凝固。	低於母材熔點，高於液相線或共晶點。	時間長	壓力較低
擴散接合	不加中間金屬，加熱過程不熔化。	0.6-0.8 倍母材熔點。	時間長	高壓

擴散接合中間層金屬使用之接合品質比較表：

方法	接合間隙	接合性能	變形量	接觸可靠性	多點鐸接
擴散接合 加入中間 層金屬	小	接近母材強度	小	要求較低	可以
擴散接合	極小	與母材相同強度	較小	有要求	與超塑成型組合可以進行大面積多接觸點鐸接

擴散接合之反應機構依其所形成接合界面之不同可歸納為三種模式：

- 一、 擴散模式：擴散是一種利用原子運動以進行物質傳遞的過程。
- 二、 界面反應模式：基於擴散元素會相互反應生成化合物，當兩相

異材料在擴散接合時，其接合界面將有明顯的化學反應層生成，反應層內包含介金屬化合物、氧化物及還原層。

三、 壓力接合模式：在壓力作用下，接合體表面產生塑性變形，使界面緊密接觸，形成原子鍵結或機械互鎖作用達到接合目的。

擴散結合製程之優缺點如下：

優點：

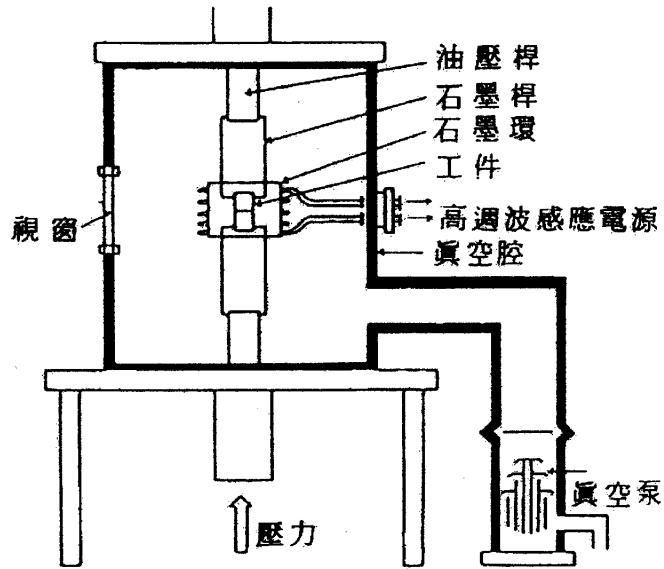
- 一、 結合區沒有裂紋，不產生一般銲接的低熔點區。
- 二、 可以得到與母材本身相同的物理性質。
- 三、 可以完成結構件大面積擴散連結，變形量小，尺寸精度高。
- 四、 能利用擴散結合，高熔點金屬，陶瓷材料及耐熱合金。

缺點：

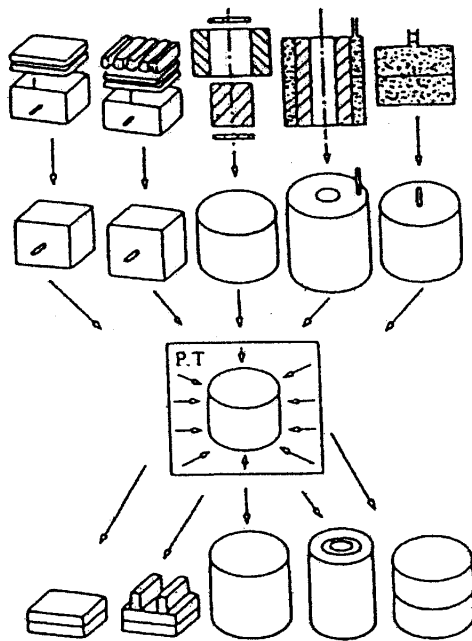
- 一、 設備投資金額高，擴散連接要求高真空條件下或在氣體保護介質(氫、氮)中進行。
- 二、 擴散連接尺寸受到設備條件之限制。
- 三、 擴散連接過程所耗費之時間較長，生產效率低。
- 四、 擴散連接需要簡單易行且無損的檢測方法。
- 五、 須要制定質量標準，以用於受力構件。

擴散接合製程部分種類如下：

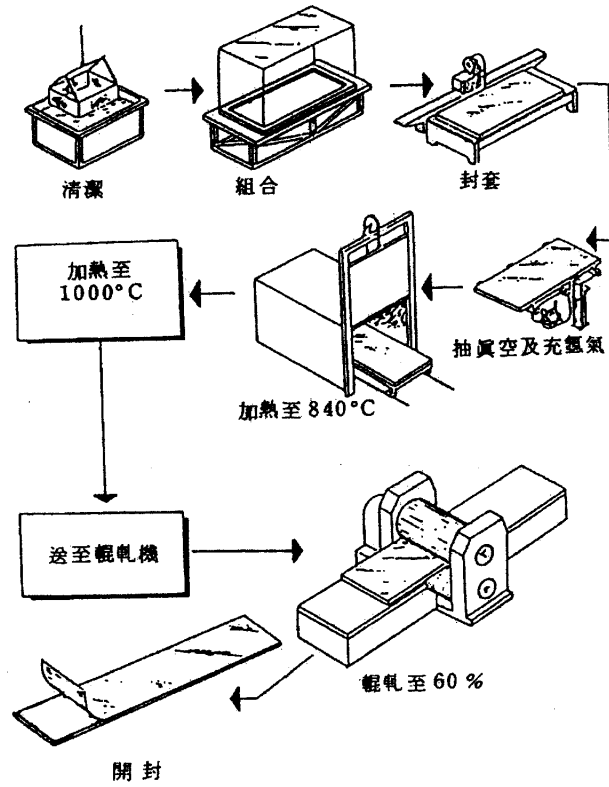
一、熱壓式擴散接合



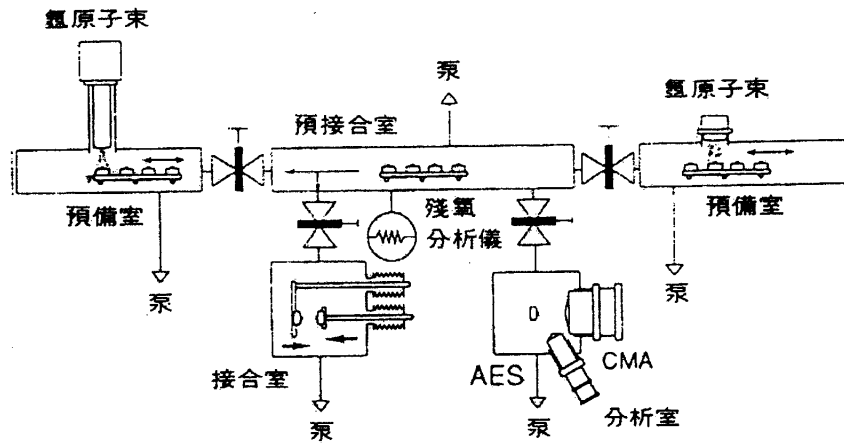
二、熱均壓式擴散接合



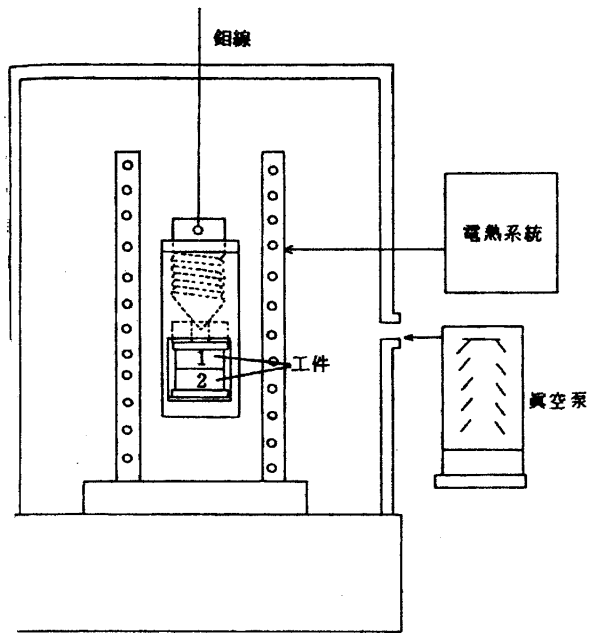
三、 滾軋式擴散接合



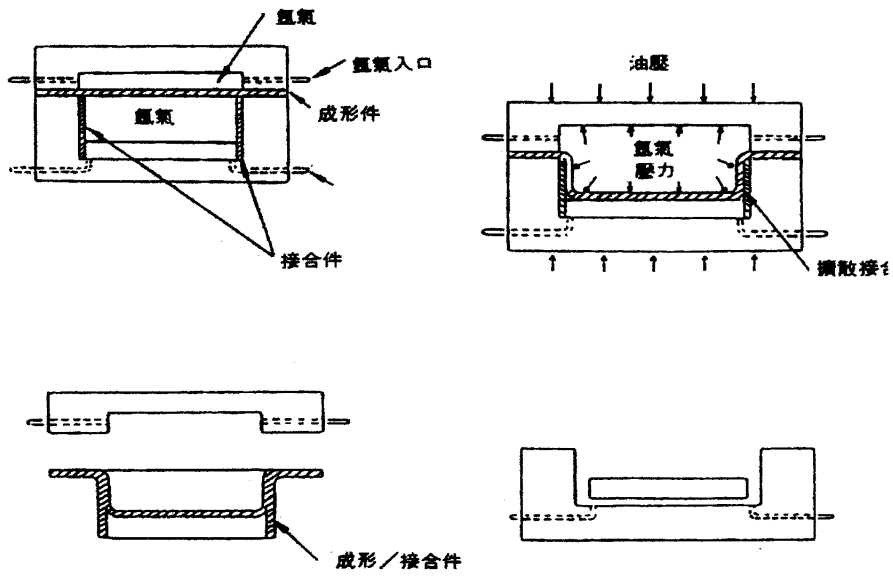
四、 常溫式擴散接合



五、微壓式擴散接合



六、氬氣吹製式擴散接合



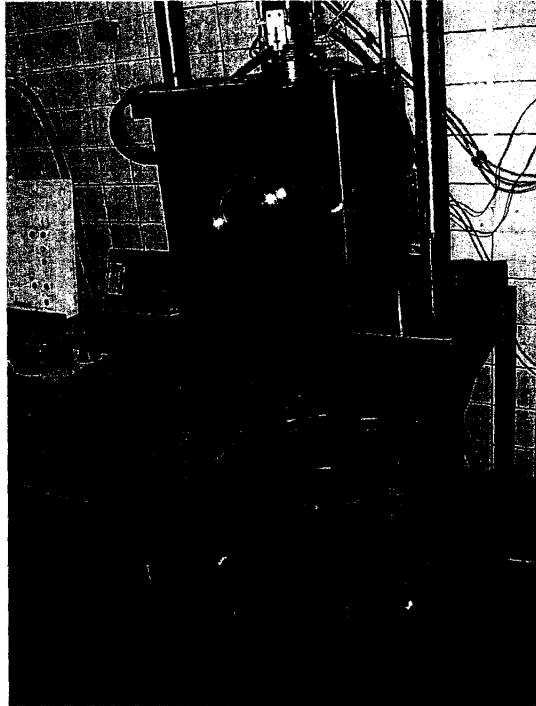
擴散接合實驗設備介紹

本設備是使用熱壓式擴散接合系統，利用機械加壓之方式對工件施與一正向壓力，加熱器利用電阻方式對工件加熱，為了避免工件表面的氧化，整個加熱過程均在高真空環境中進行。

擴散接合實驗設備介紹如下：

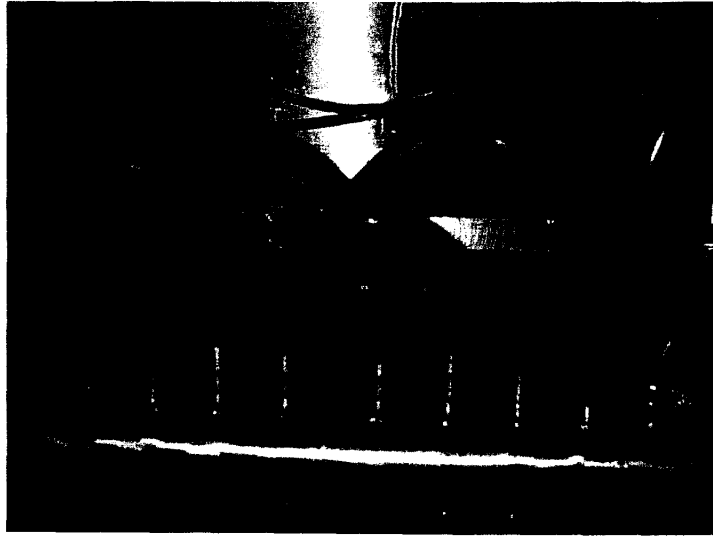
一、 擴散接合真空槽：

提供工件在擴散接合製程所需要之操作環境，容積約為 0.4 立方公尺，可進行擴散接合工件尺寸約為 8 英吋大小。



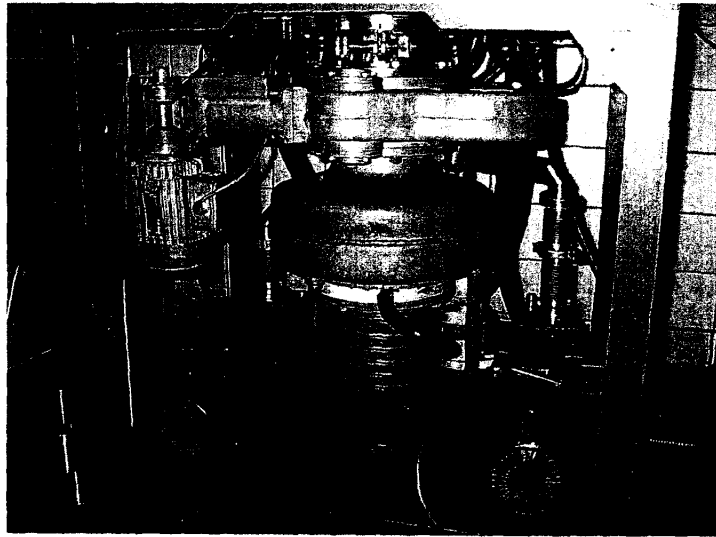
二、 擴散接合設備冷卻系統：

提供擴散接合真空槽體所需要之冷卻，本冷卻系統使用冷水循環冷卻真空槽體，冷卻水系統共有八個進出口，一共四組冷卻管路，三組分別冷卻槽體本身，一組冷卻真空槽蓋，冷卻水流量並無太大限制，將冷卻水開關全開即可。



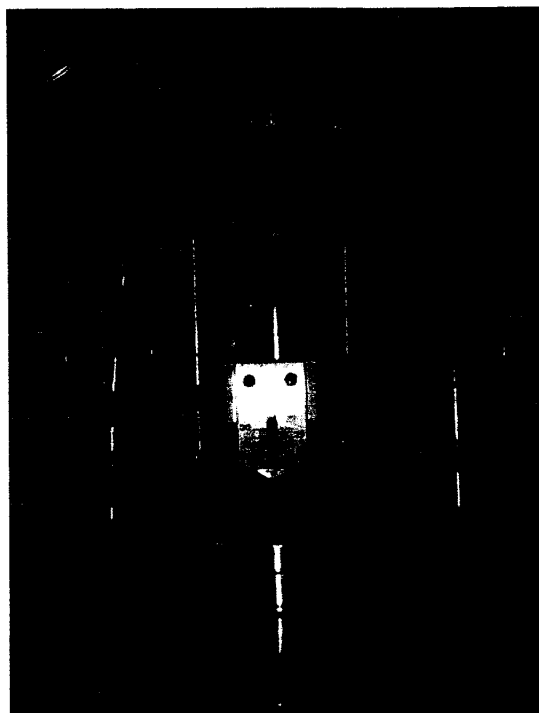
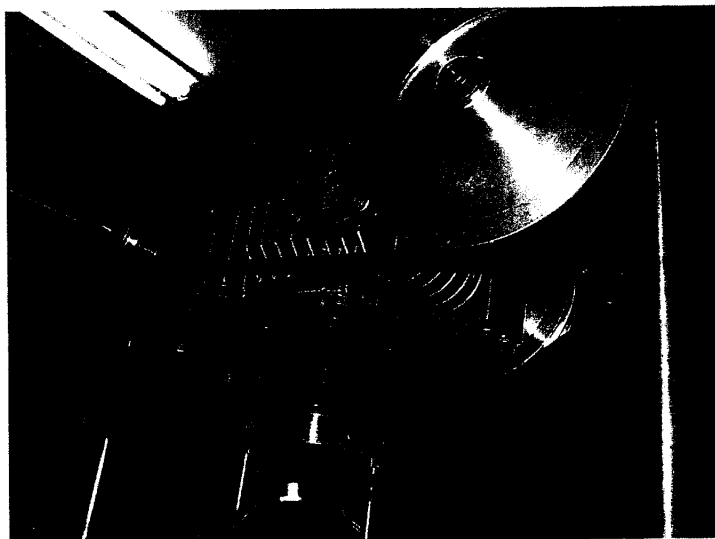
三、 擴散接合真空系統：

擴散接合真空系統提供工件在擴散接合製程所需要之低真高與高真空環境，本真空系統低真空度數值為 1×10^{-3} torr，而高真空度可以達到 1×10^{-6} torr，製造低真空時先以兩側的低真空幫浦抽吸空氣，當真空度到達 1×10^{-3} torr 後，再以擴散幫浦抽吸至高真空環境。



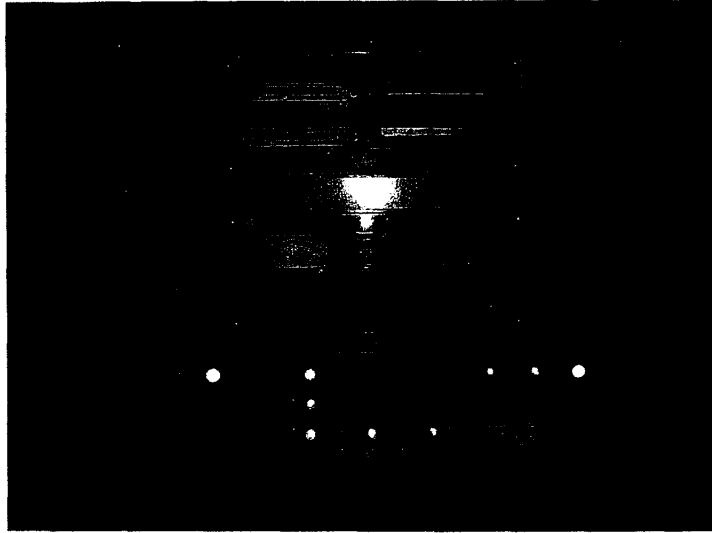
四、擴散接合機械加壓系統：

機械加壓系統提供工件在擴散接合製程所需要之垂直正向壓力，壓力可達 10bar。



五、 擴散接合電流及真空顯示系統：

提供工件在擴散接合製程所顯示之資訊，如高真空度、低真空度、電流大小及電壓大小等重要製程參數。



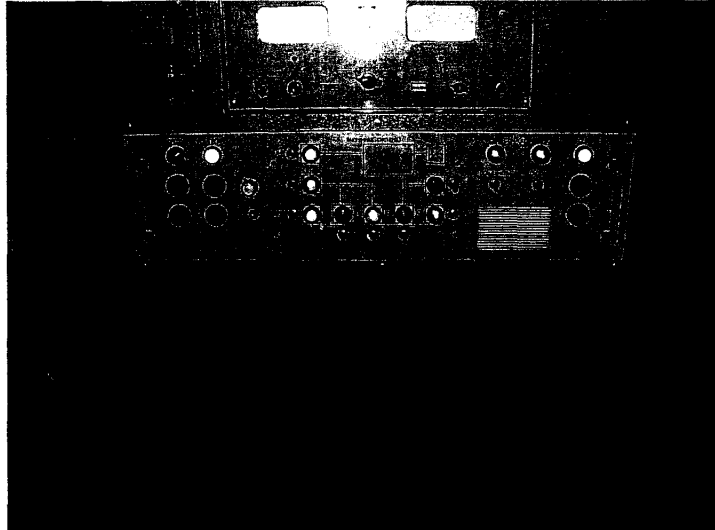
六、 擴散接合溫度顯示系統：

提供工件在擴散接合製程當中，工件溫度變化之製程參數資訊。



七、擴散接合控制系統：

控制擴散接合製程所需要調整之重要製程參數，如高低真空系統控制、電流大小控制、壓力大小控制及系統電源等功能。

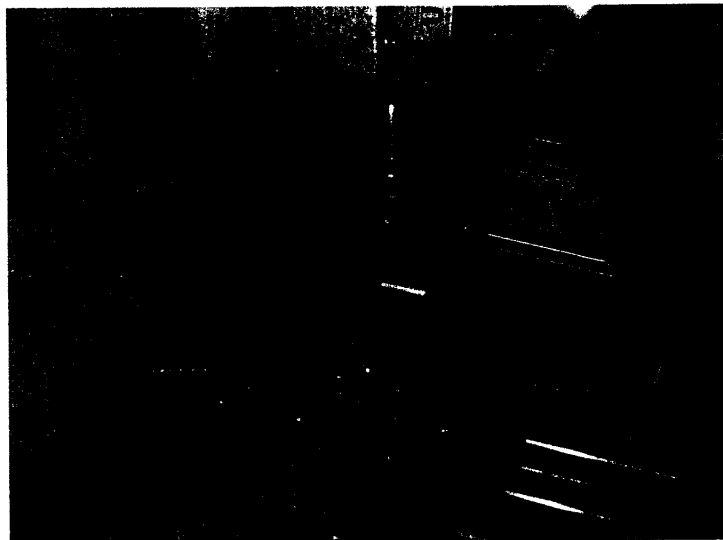


鋼材擴散接合製程實驗

鋼材擴散接合製程實驗步驟如下所示：

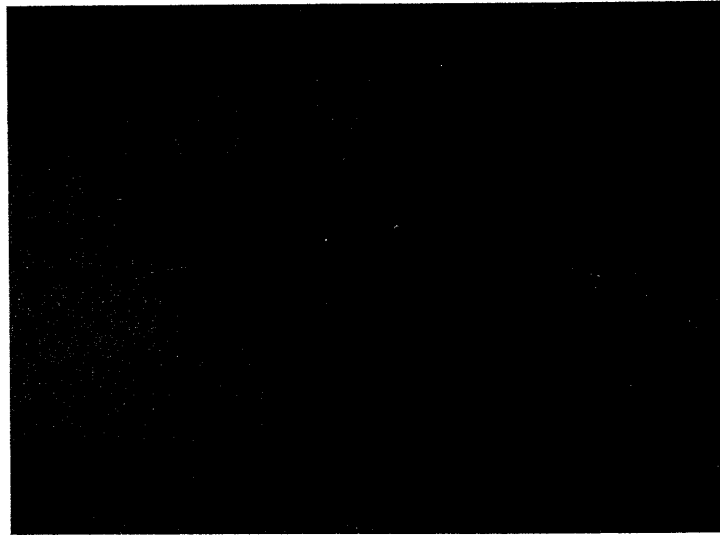
一、準備鋼材

先將直徑約 15mm 的鋼材進行截斷，保留長度約 20mm，並在工件表面鑽一小孔，同時對截斷面進行清潔及研磨，鋼材本身並不需要進行拋光製程，最後利用 500 號砂紙及丙酮清潔即可。



二、 依照母材形狀準備加熱器並加工成型

準備鉬合金薄板，板厚約 2mm，並依照母材本身之形狀加工成形。



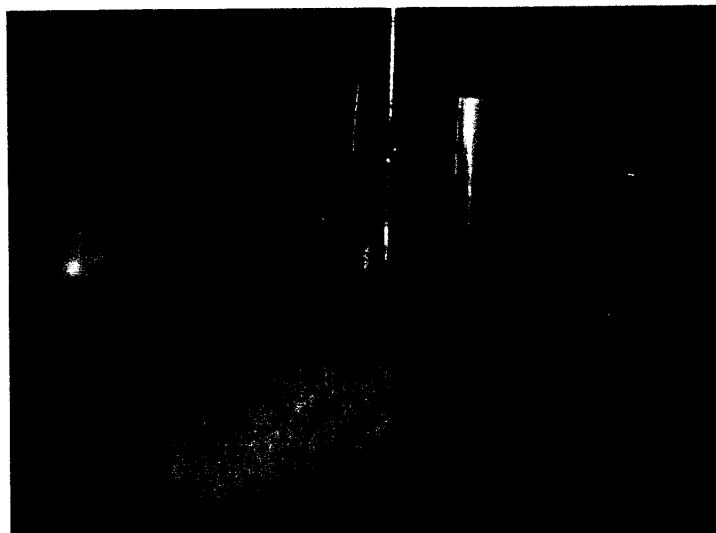
三、 將母材置入真空槽中

將鋼材置入真空槽體中並加置墊高塊，使工件高度等於加熱器之高度，工件最佳位置是位於加熱器中段。



四、 安裝熱電耦測溫裝置

將熱電耦測溫裝置安裝在預先鑽好的小孔中。



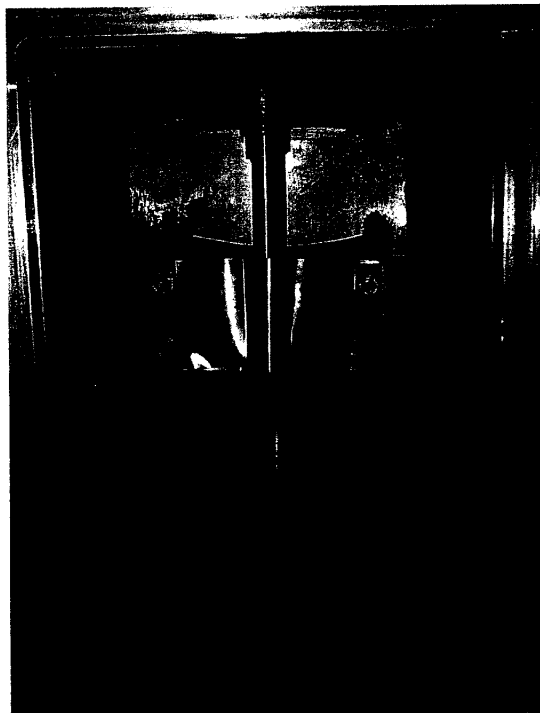
五、 安裝加熱器至固定位置

將鉕合金加熱器安裝至電極之上。

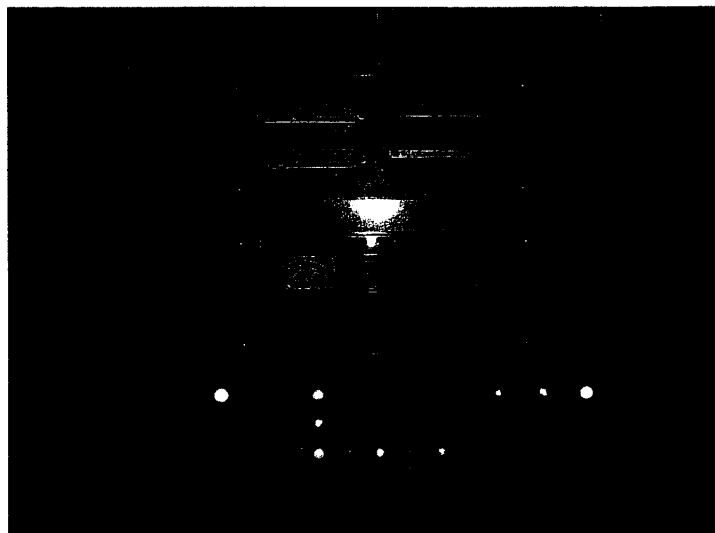


六、鋼材擴散接合製程實驗準備完成

實驗準備完成，並利用機械加壓方式，將工件加壓至約 10Bar。



七、開始進行擴散接合製程



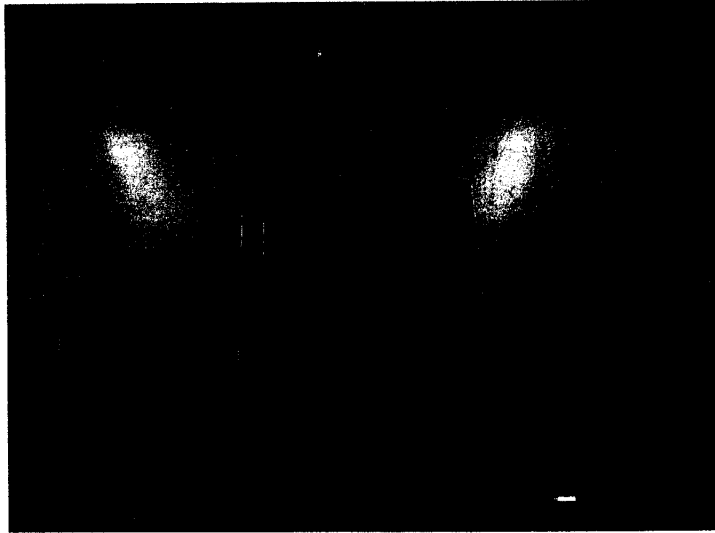
八、 開始製造高真空環境

進行擴散接合製程必須先製造低真空度至 1×10^{-3} torr，之後製造高真空度到 1×10^{-6} torr，其流程為開始製造低真空時先以兩側的低真空幫浦抽吸，等真空度到達 1×10^{-3} torr 後，再以中央擴散幫浦抽吸達到 1×10^{-6} torr 的高真空度。



九、 加熱及持溫製程

在四十分鐘內熱至約攝氏七百度，並維持攝氏七百度的溫度約十分鐘，用以增加擴散接合品質，加熱及持溫製程完成後將電源切斷。



十、 完成擴散接合製程後開始進行冷卻

加熱電源切斷後，開始利用冷水強制冷卻五十分鐘。



十一、鋼材擴散接合完成樣品

母材冷卻完成後，鋼材擴散接合製程即完成。



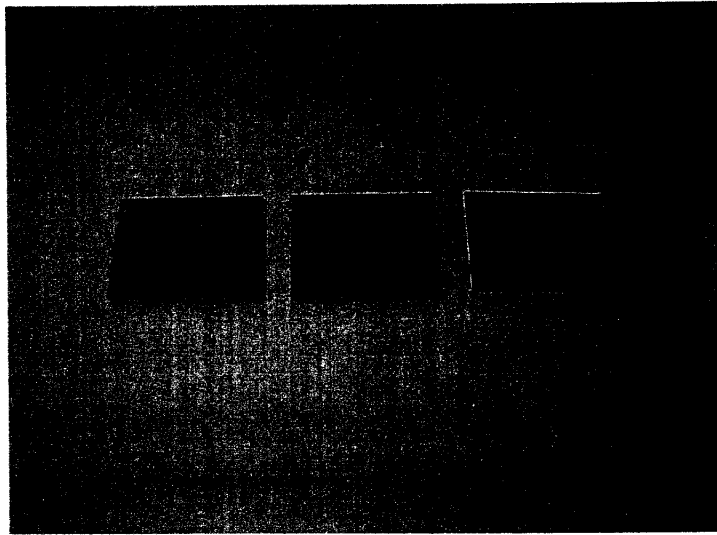
完成之鋼材擴散接合樣品如上圖所示，工件本身並無明顯形變，鋼材本身產生些許氧化現象，故顏色加深些許，施加壓力之大小會影響工件接合品質以及外觀，故壓力控制必須精確維持。

鈦金屬板材擴散接合實驗

鈦金屬板材擴散接合實驗步驟如下：

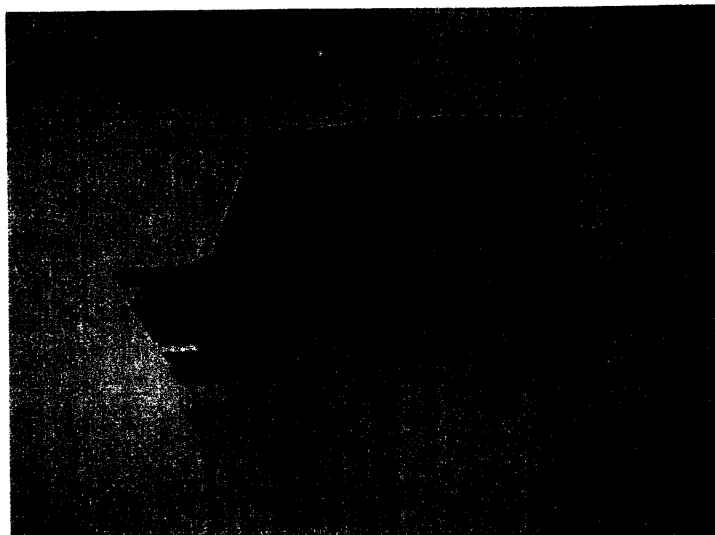
一、準備材料並進行表面處理

對鈦金屬板表面進行清潔及研磨，鈦金屬本身並不需要進行拋光製程，板材本身的平整的必須要求，最後利用 1000 號砂紙及丙酮清潔即可。



二、依照母材形狀準備加熱器並加工成型

準備鉬合金薄板，板厚約 2mm，並依照母材本身之形狀加工成形。



三、安裝加熱器及熱能集中遮蔽隔板



四、放置鈦金屬母材至真空槽中

將鈦金屬置入真空槽體中並加置墊高塊，使工件高度等於加熱器之高度，鈦金屬板之最佳位置是位於加熱器中段。



五、調整鈦金屬母材加壓配置

實驗準備完成，並利用機械加壓方式，將工件加壓至約 10Bar。



六、 安裝測溫裝置

將熱電耦測溫裝置安裝在板材之上。



七、 完成鈦金屬板材加熱裝置安裝

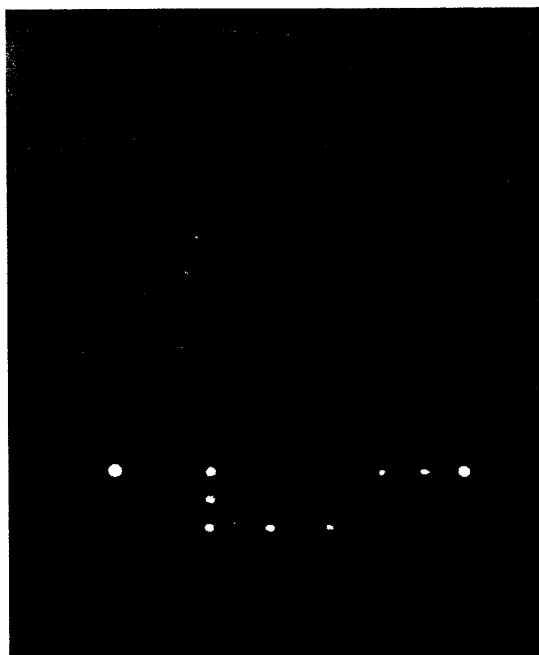
實驗準備完成，並利用機械加壓方式，將工件加壓至約 10Bar。



八、完成鈦金屬板材擴散接合實驗準備



九、開始擴散接合製程



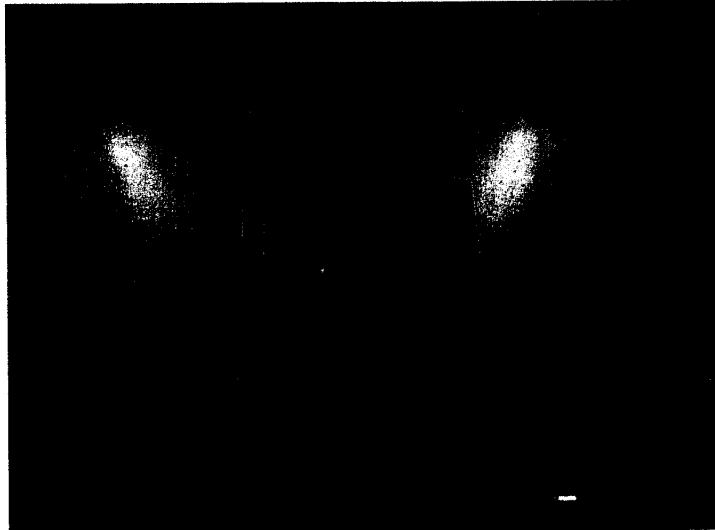
十、開始製造高真空環境

進行鈦金屬板材擴散接合製程必須先製造低真空度至 1×10^{-3} torr，之後製造高真空度到 1×10^{-6} torr，其流程為開始製造低真空時先以兩側的低真空幫浦抽吸，等真空度到達 1×10^{-3} torr 後，再以中央擴散幫浦抽吸達到 1×10^{-6} torr 的高真空度。



十一、加熱及持溫製程

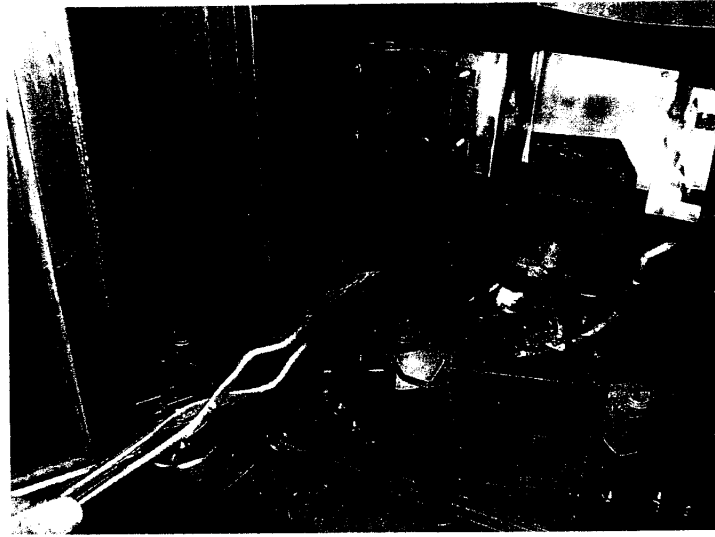
在五十分鐘內熱至約攝氏九百五十度，並維持攝氏九百五十度的溫度約二十分鐘，用以增加擴散接合品質，加熱及持溫製程完成後將電源切斷。



十二、完成擴散接合製程後開始進行冷卻



十三、鈦金屬板材擴散接合完成樣品



完成之擴散接合樣品如上圖所示，工件本身並無明顯形變，鈦板本身並無產生氧化現象，施加壓力之大小會影響工件接合品質以及外觀，故壓力控制必須精確維持。

下表為同種金屬擴散接合製程之參數設定，依據材料之形狀及面積之不同接合壓力及保溫時間皆會有不同之變化。

序號	母材	中間層合金	接合溫度 (攝氏)	接合壓力 (MPa)	保溫時間(min)
1	Ta-Ta		1200	1	20
2	Nb-Nb		1400	1	5
3	W-W	Mo	2000	1	10
4	Mo-Mo		1600	1	20
5	Mo-Mo	Mo	1600	1	10

金屬材料之擴散接合製程設定參數

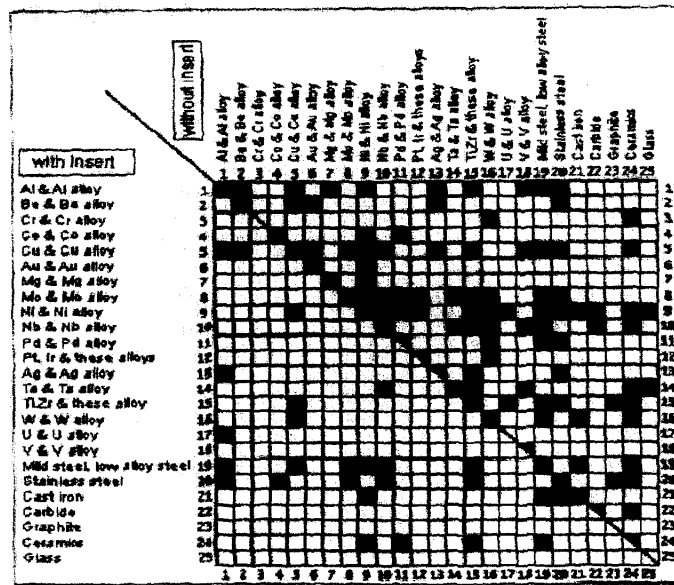
下表為鈦合金擴散接合之界面強度分析：

接合條件及表面處理	接合壓力 (MPa)	降伏強度 0.2% YS, MPa	拉伸強度 UTS, MPa	伸長率 %
As received		965	1052	17.5
原材 (C-Ti64)		929	997	17.0
線 1200 K / 30 min 熱處理				
0.3 μm Al ₂ O ₃ 拋光	7	927	996	17.0
	0.7	932	986	10.0
0.3 μm Al ₂ O ₃ 拋光，並施加超 塑性合金夾層	0.7	932	986	9.1
600 # SiC 砂紙研磨	0.7	928	929	2.5
600 # SiC 砂紙研磨並施加超塑 性合金夾層	0.7	935	964	5.0
80 # SiC 砂紙研磨	7	925	973	5.0
	4.2	906	947	3.8
	2.1	913	940	3.8
	0.7	786	787	1.9
80 # SiC 砂紙研磨並施加超塑性 合金夾層	4.2	917	991	7.5
	2.1	917	967	6.3
	0.7	928	959	4.4

擴散接合之界面強度分析表

異種金屬擴散接合製程

異種金屬擴散接合製程必須具備所有擴散接合所需之條件外，由於異種金屬擴散接合比較容易產生接合品質不良的缺點，而異種金屬擴散接合性能低下的原因，主要是因為原子過多的擴散或產生金屬間化合物，這些原因易使工件接合品質不良，造成強度不足的後果，所以在異種金屬擴散接合製程可以利用更動部分製程條件來達到相同的接合品質。



異種金屬擴散接合配合圖

目前異種金屬擴散接合提升製程接合品質的方法如：

- 一、 抑制金屬間化合物的形成。
- 二、 插入中間層金屬。

- 三、 插入高熔點金屬：如 SUS/Ta/Ti。
- 四、 插入不固溶金屬：如 SUS/Ni/碳鋼。
- 五、 改善金屬間化合物性能：如金、銀。
- 六、 接合面清潔：以氫離子衝擊。
- 七、 接合面平滑化。
- 八、 銅與各種金屬接合時之氧擴散：使用無氧銅。
- 九、 不使用反應性氣體。
- 十、 防止再結晶：使用 Mo/W/Ni 基等耐熱合金。

異種金屬擴散接合製程加入中間層金屬

擴散結合加入中間層金屬具有擴散接合與軟鐸的優點，其工作流程是介於兩者之間的一種特殊鐸接方法，採用中間金屬，放入待連接的界面上加熱至溫度低於母材熔化溫度，中間金屬與母材在溫度與壓力作用之下產生共晶反應，形成一層極薄的液膜，此液膜充滿界面空隙，等溫凝固後，中間金屬擴散入母材，以獲得化學成分和金相組織的均勻連接。

擴散結合加入中間層金屬之特點為，中間金屬中含有熔點低之元素，在擴散軟鐸開始時，即因溫度增加而形成液相，加熱過程中中間金屬開始向母材擴散，液相層減薄，元素濃度降低，同時進行等溫凝固使液相消失，當等溫凝固結束後即開始擴散均勻化過程，最後獲得

均質結合。

中間層材料之選擇條件如下：

- 一、 降低對待接合金屬的質量要求，改善表面接觸，以縮短銲接時間。改善擴散條件，加速擴散過程，降低銲接所須之時間。
- 二、 改善冶金反應，避免或減少脆性金屬間化合物之行程以及不利的共晶組織出現。
- 三、 減小因被銲材料之間的物理化學特性差異過大而出現的熱應力以及擴散結合缺陷以及孔洞等。

製造中間層金屬時，其材料之基本要求為：

- 一、 具備良好之塑性，在壓力之下易變形。
- 二、 含有降低中間層金屬合金熔點的元素。
- 三、 含有加速擴散的元素。
- 四、 與母材能形成低熔共晶。
- 五、 物理化學性質與母材差異不大。
- 六、 與母材無不良冶金反應。
- 七、 在接觸中不引起化學腐蝕。

下表為常用材料之異種金屬擴散接合製程設定參數：

序號	母材	中間層金屬	接合溫度 (攝氏)	接合壓力 (MPa)	保溫時間 (min)	保護氣壓力 (0.001Pa)
1	Al+Cu		500	9.8	10	6.67
2	Al+Stainless		550	13.7	15	13.3
3	Al+Steel		460	1.9	1.5	13.3
4	Mo+Mo	Ti	900	68	15	
5	Mo+Cu		900	72	10	
6	W+W	Nb	915	70	20	
7	Ti+Cu		860		15	
8	Ti+Stainless		770	4.9	10	
9	Alloy+Alloy		1100	79.6	25	1.33
10	Alloy+Cu		950	6.8	10	1.33
11	Stainless+Cu		970	13.7	6	
12	Ti+Ceramic	Al	900	9.8	20	<13.3
13	Ceramic+Cu		960	7.8	25	
14	Fe+Fe		800	30	20	66
15	Al+Al	Si	580	9.8	1	

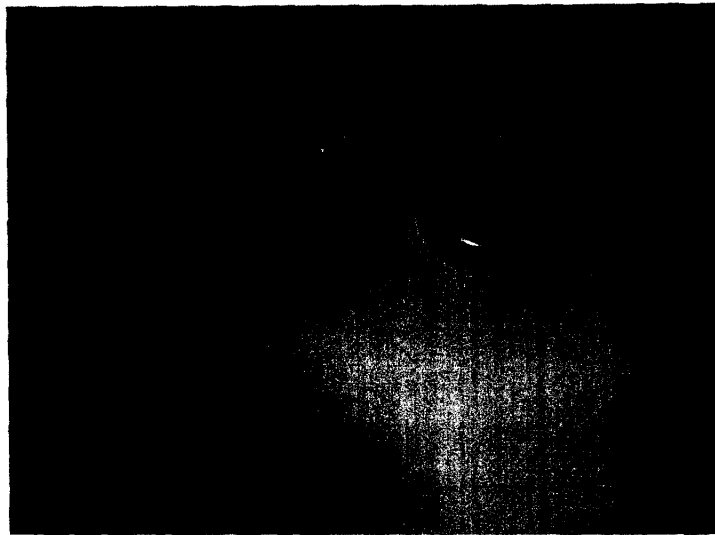
常用材料之異種金屬擴散接合製程設定參數

銅鋁異種金屬擴散接合實驗

銅鋁異種金屬擴散接合實驗步驟如下：

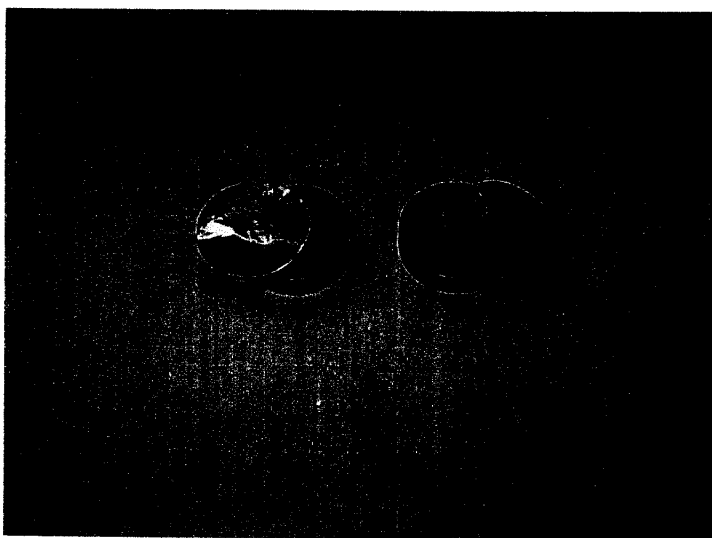
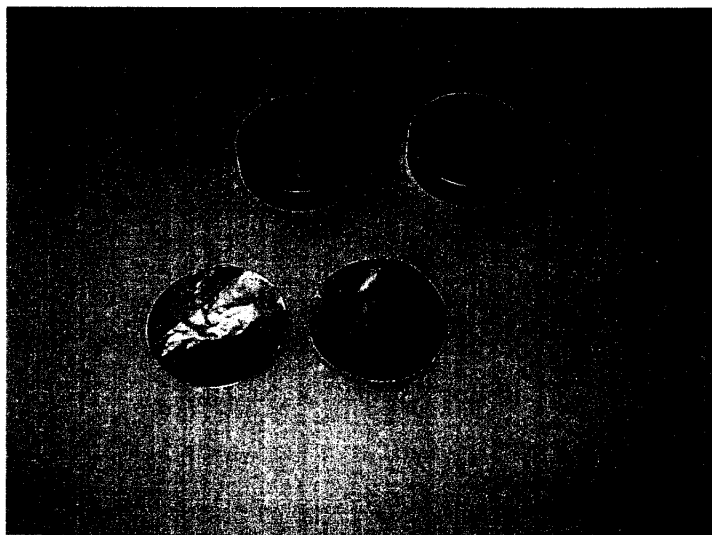
一、準備材料及表面處理

銅版與鋁板的直徑約 50mm，材料切割完成後必需對銅鋁金屬板表面進行清潔及研磨，銅鋁金屬本身並不需要進行拋光製程，板材本身的平整的必須要求，最後利用 1000 號砂紙及丙酮清潔即可。



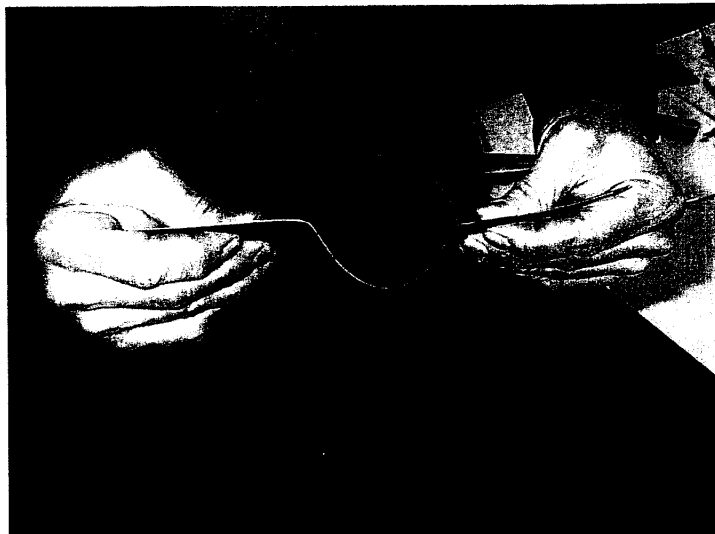
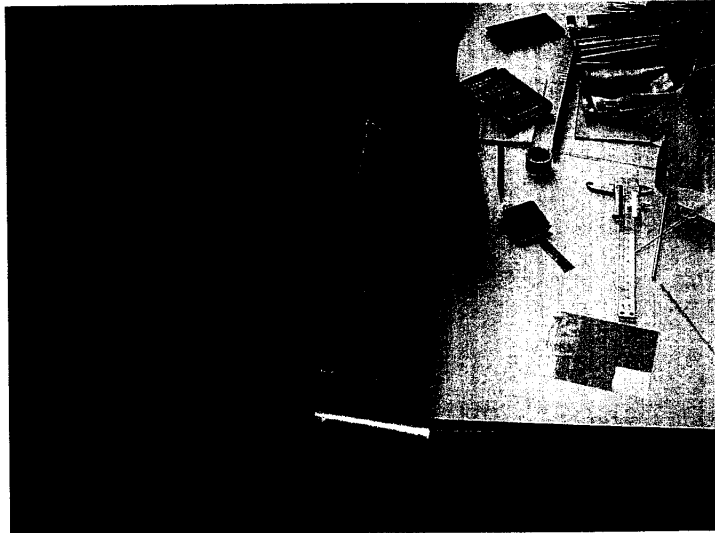
二、準備中間層鎳金屬薄片

鎳金屬薄片的厚度約七十微米，中間層金屬的面積必須與銅鋁金屬板相當，鎳金屬薄片必須保持清潔。



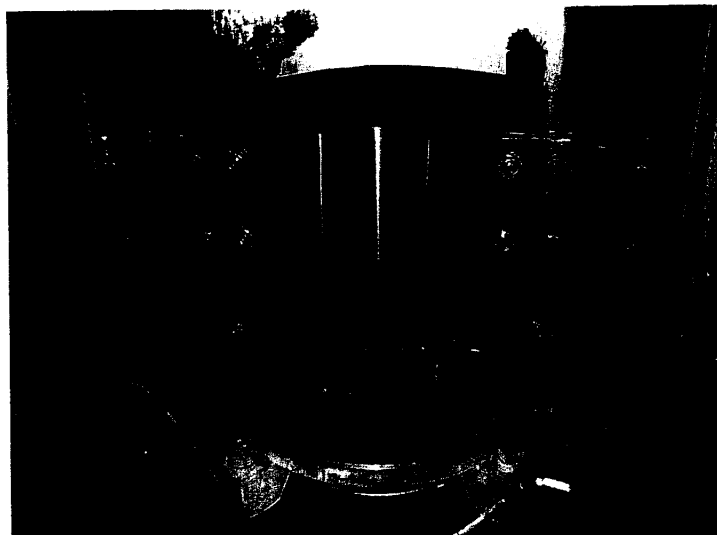
三、 依照母材形狀準備加熱器並加工成型

準備鉬合金薄板，板厚約 2mm，並依照母材本身之形狀加工成型。

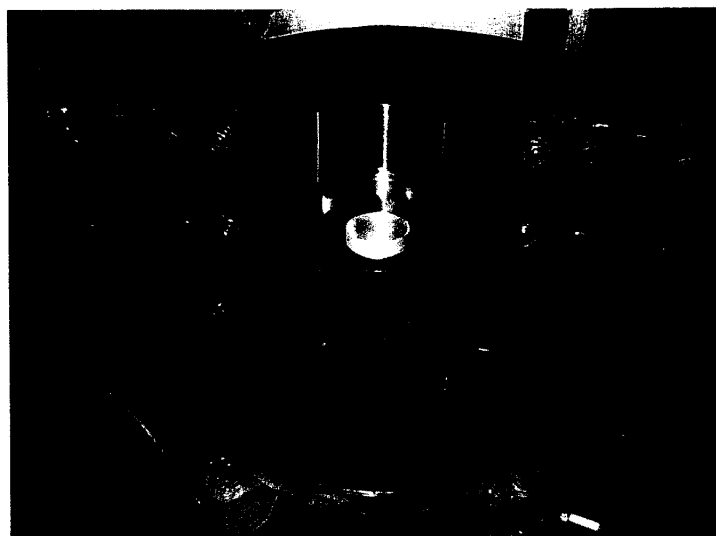


四、安裝加熱器

將鉬合金加熱器安裝至電極之上。

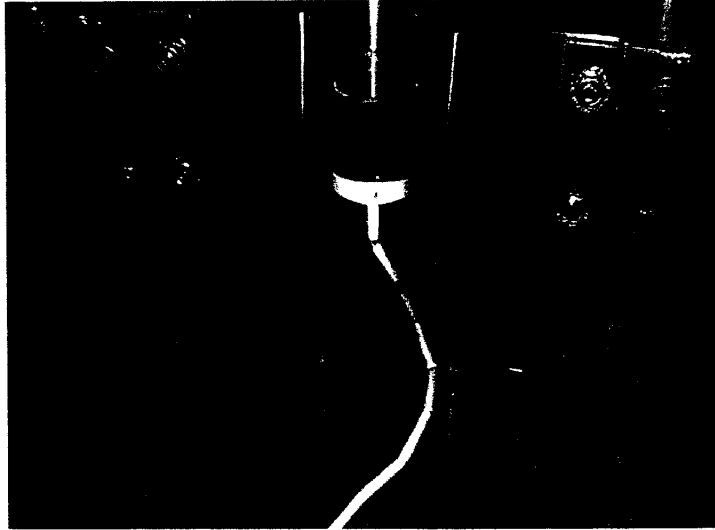


五、放置銅鋁擴散接合母材至真空槽中



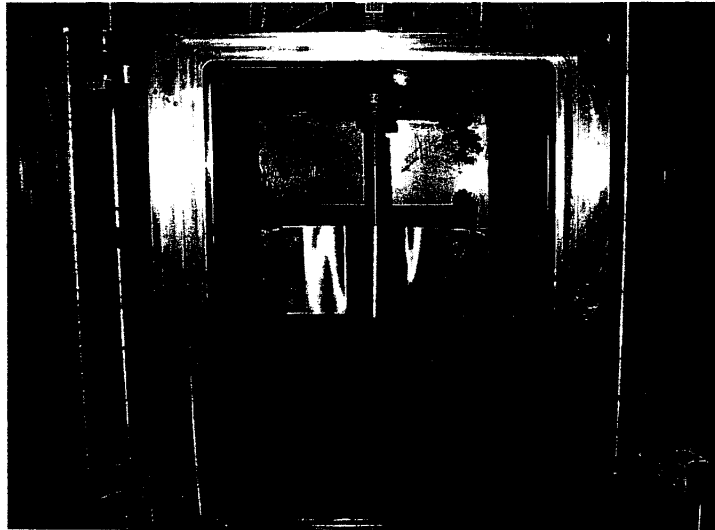
六、安裝溫度測量裝置

將熱電耦測溫裝置安裝在預先鑽好的小孔中。



七、完成銅鋁擴散接合製程實驗準備

實驗準備完成，並利用機械加壓方式，將工件加壓至約 10Bar。



八、 開始銅鋁異種金屬擴散接合製程



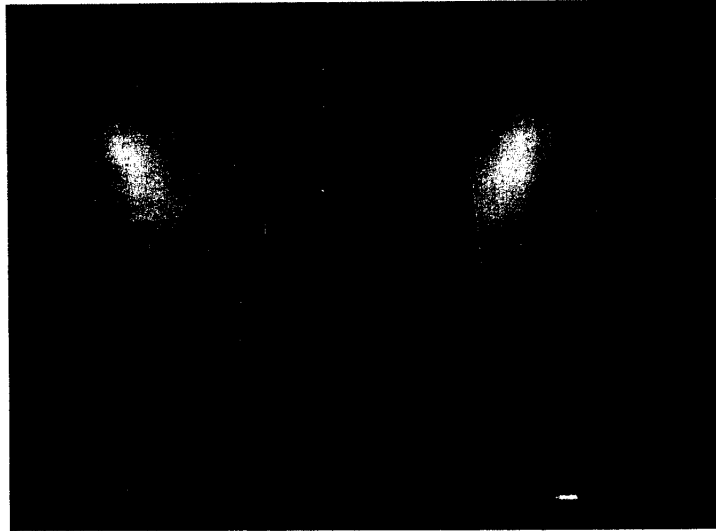
九、開始製造高真空環境

進行擴散接合製程必須先製造低真空度至 1×10^{-3} torr，之後製造高真空度到 1×10^{-6} torr，其流程為開始製造低真空時先以兩側的低真空幫浦抽吸，等真空度到達 1×10^{-3} torr 後，再以中央擴散幫浦抽吸達到 1×10^{-6} torr 的高真空度。



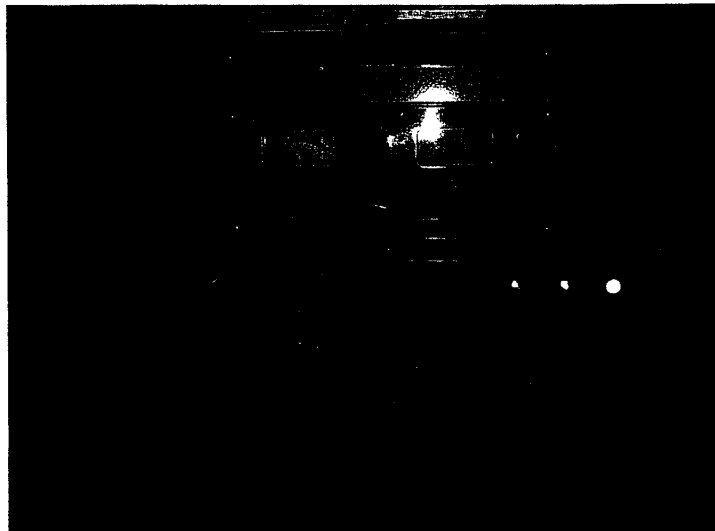
十、加熱及持溫製程

在四十分鐘內熱至約攝氏六百度，並維持攝氏六百度的溫度約二十分鐘，用以增加擴散接合品質，加熱及持溫製程完成後將電源切斷。

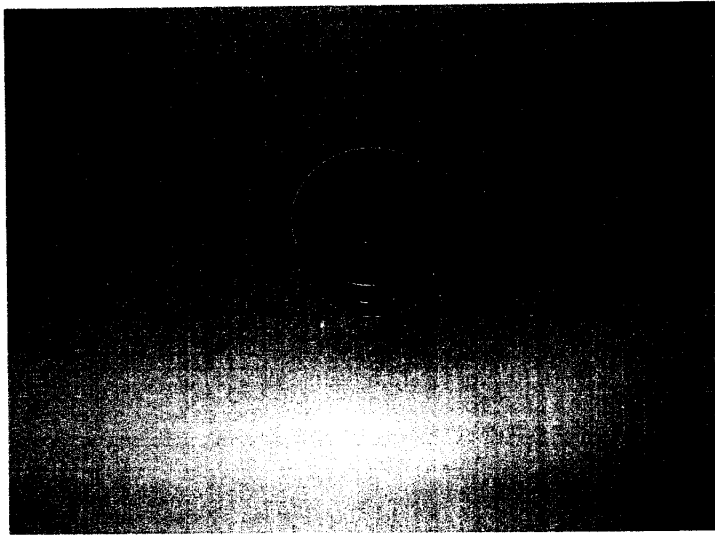


十一、完成擴散接合製程後開始進行冷卻

利用冷卻水循環降低溫度，時間約為五十分鐘。



十二、擴散接合完成之銅鋁異種金屬樣品



完成之銅鋁擴散接合樣品如上圖所示，工件本身並無明顯形變，銅板本身產生氧化現象，故顏色加深，施加壓力之大小會影響工件接合品質以及外觀，故壓力控制必須精確維持。

非金屬擴散接合製程

非金屬擴散接合製程必須具備所有異種金屬擴散接合所需之條件外，此外非金屬擴散接合必須依材料性質不同而提高接合溫度，非金屬材料包含廣泛大致上來說有陶瓷及玻璃等二大類，大部份的非金屬擴散接合製程都利用中間層金屬來增加接合品質，同時利用中間層金屬也可以減少操作時間或操作壓力等製程條件。

陶瓷擴散接合製程大部分利用中間層金屬來完成，或者是將陶瓷母材表面做金屬化處理，由於陶瓷材料性質與金屬相差甚多，故陶瓷擴散接合製程之操作溫度經常高達攝氏 1000 度以上，所以加熱方式的選用設計必須能夠保持高溫的穩定為主，此外完成陶瓷擴散接合加熱及持溫製程之後，工件之冷卻也非常的重要，在陶瓷擴散接合中多用階段冷卻，而不採用金屬擴散接合製程中的線性冷卻方式，避免工件因熱膨脹不均而產生微小裂痕影響接合品質。

玻璃擴散接合製程同樣利用中間層金屬來完成，或者與陶瓷材料相同將玻璃表面做金屬化處理，由於玻璃材料性質與金屬相差甚多，與陶瓷較為接近，故操作溫度約攝氏 500-700 度左右，完成玻璃擴散接合加熱及持溫製程之後，玻璃工件之冷卻也非常的重要，在玻璃擴散接合中同樣使用階段冷卻方式，而不採用金屬擴散接合製程中的線性冷卻方式，避免工件因熱膨脹不均而產生微小裂痕影響接合品質。

下表為部份金屬陶瓷母材擴散接合製程參數：

序號	金屬陶瓷母材	接合溫度 (凱氏)	接合壓力 (MPa)	保溫時間 (min)	保護氣種類	接合強度 (Mpa)
1	Kovar-BK94-1	1473	16-18	15-20	氫氣	100-120
2	Steel-BK94-1	1473	16-18	15-20	氫氣	100-200
3	Steel-BK94-2	1473	16-18	15-20	氫氣	115
4	Ni-BK100-1	1523-1573	16-18	15-20	氫氣	100
5	Pd-BK100-1	1523-1573	16-18	15-20	氫氣	160
6	Steel-BK100-1	1523-1573	16-18	15-20	氫氣	5

陶瓷與金屬擴散接合製程相關參數

技術現況與應用趨勢

擴散接合主要以固態反應進行，工件之尺寸可以維持不變，殘留應力之問題較為緩和，並無一般熔銲方式所形成之銲道及熱影響區，可減少由上述原因所引發之材料破損問題。對於單一工件利用擴散接合計技術加工接合雖然速率較慢，但是由於多數工件可以同時加壓加溫進行接合，較之一般熔銲方法必須一件件進行接合可能在整體產能及成本反應上更為有利，而相較於一般硬銲或軟銲技術，接合強度佳、無長期使用之老化問題等優勢。

日本半導體製程所使用之金屬靶材，部分是利用擴散接合所製成，接合品質相當良好，國內目前尚無相關擴散接合自製設備，希望未來可以將此技術拓展應用範圍，不再將擴散接合應用侷限在航太等相關產業。

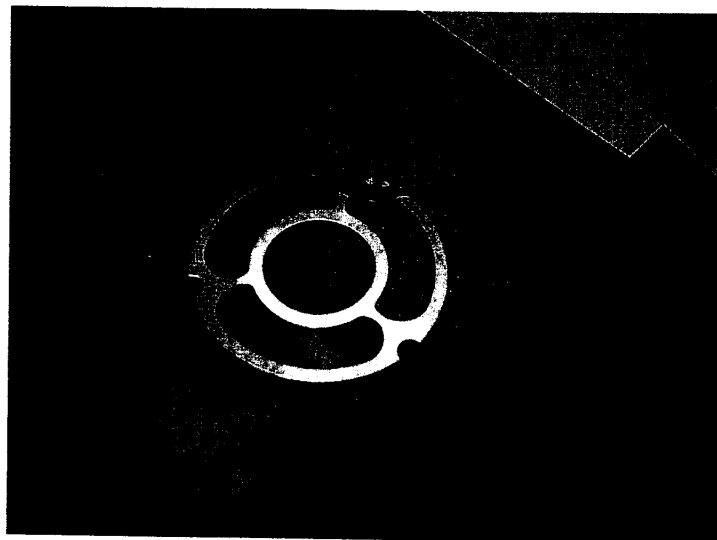
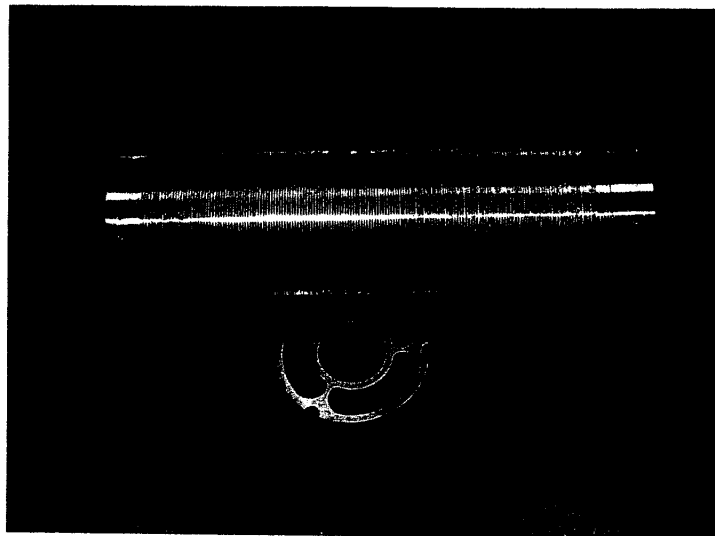
擴散接合技術目前可接合之同種及異種金屬材料列表：

金屬 種類	鈦 鈦合金	銅 銅合金	不銹鋼 鋼	工具鋼	鋼 低合金 鋼	鎳 鎳合金	鈷合金	鋁
鈦 鈦合金	可接合						測試中	可接合
銅 銅合金	可接合						測試中	可接合
不銹鋼 鋼	可接合						可接合	可接合
工具鋼	可接合						可接合	可接合
鋼 低合金 鋼	可接合						可接合	可接合
鎳 鎳合金	可接合						可接合	可接合
鈷合金	測試中	測試中	可接合	可接合	可接合	可接合	測試中	可接合
鋁	可接合						測試中	可接合

本次研習也發現擴散接合在航太工業以外之應用，利用範圍廣泛，希望能擴大擴散接合之技術應用，茲介紹部份擴散接合應用如下：

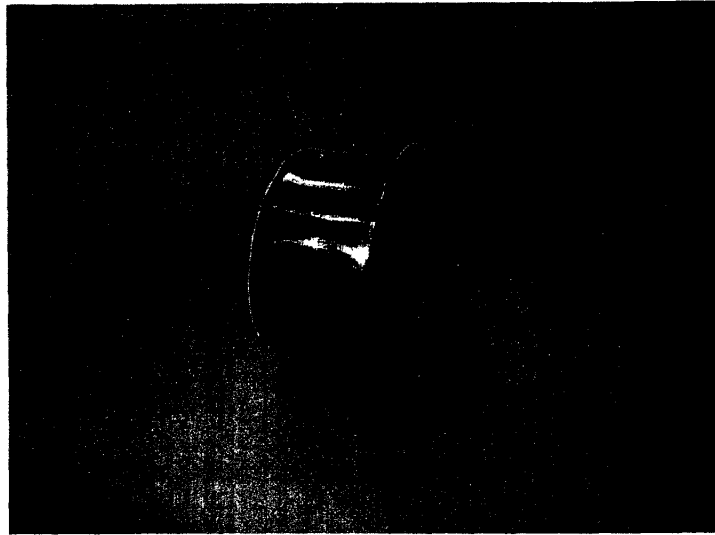
一、銅鋁薄片接合熱交換器

下圖中之熱交換器約使用各一百五十片的銅片與鋁片，再利用擴散接合製程不加中間層金屬所完成。



二、不銹鋼銅底石英震盪

下圖中為不銹鋼與銅兩種材料利用擴散接合製程完成接合。



三、銅鋁接合特殊馬達轉子

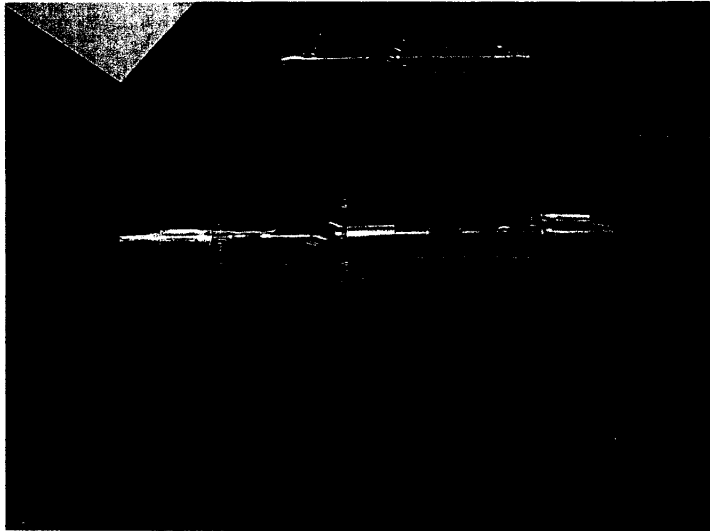
下圖為銅與鋼材利用擴散接合所完成之特殊馬達轉子。



四、 真空管

下圖中燈泡兩端是利用擴散接合技術將玻璃與金屬接合，製造真空管

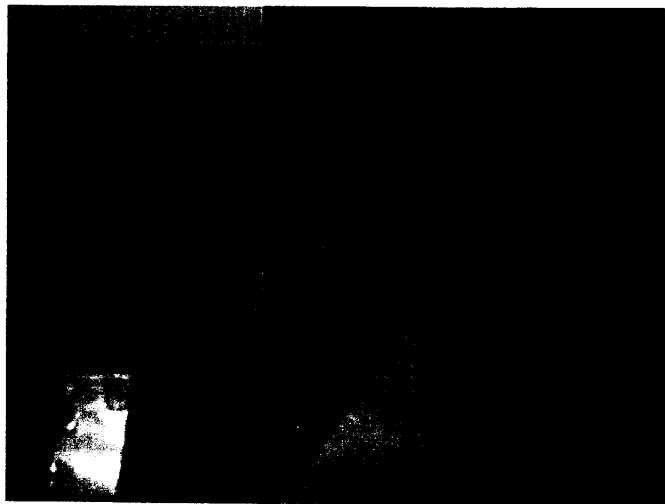
利用擴散接合技術製程速度相當快速。



五、 多層高密度金屬過濾網

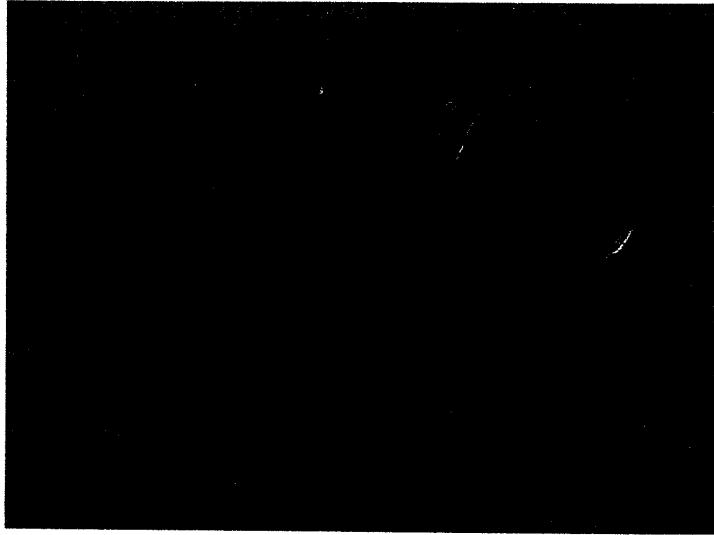
不鏽鋼材質金屬濾網，利用多層濾網相疊，利用擴散接合製程，可以

完成高密度之金屬濾網塊。



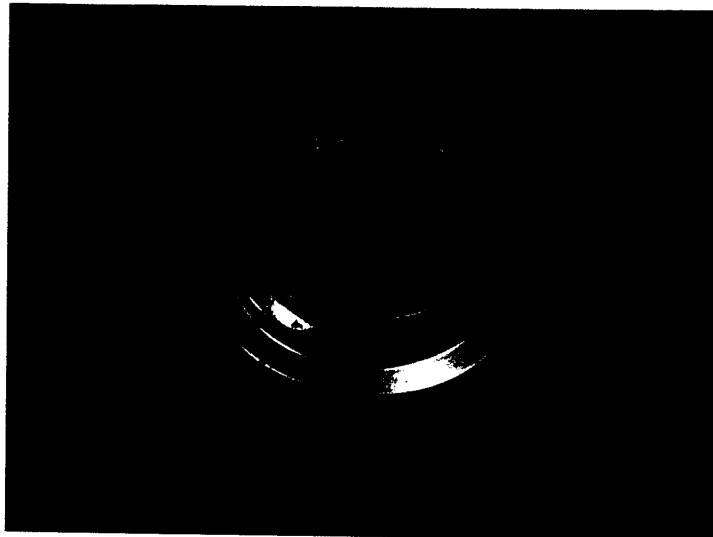
六、 電子組件玻璃金屬封裝

下圖中 PIN 腳為金屬材質與非金屬玻璃利用擴散接合技術來接合。



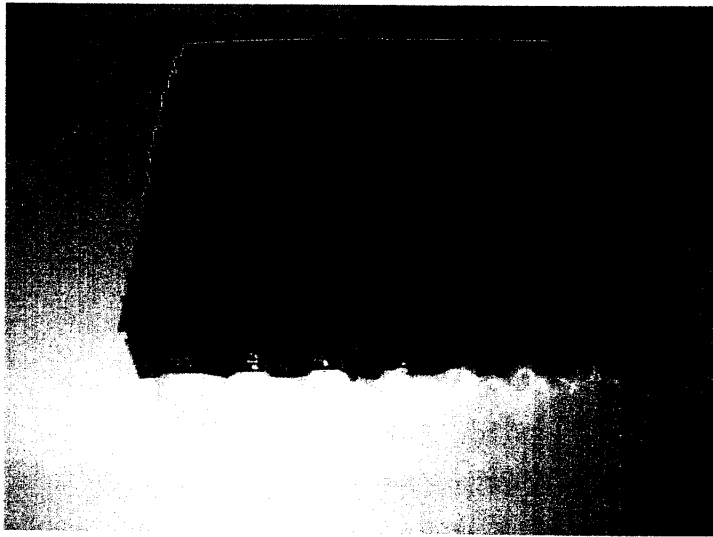
七、 高功率照明設備封裝

下圖中為高透光率之玻璃與不鏽鋼利用擴散接合製程完成接合。



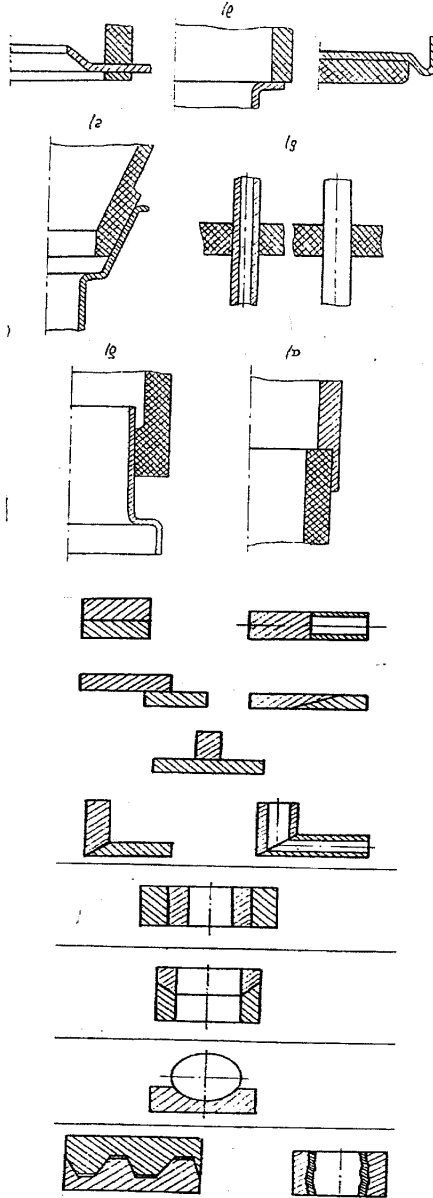
八、高強度鈦金屬結構件

下圖為上下二片鈦金屬板中間以鈦金屬薄片支撐之高強度結構件，此結構件目前應用於航太飛行器之主結構件。



九、各種結構件接合

下圖為各種擴散接合可能應用之接合方式，以供參考。



結論與心得建議

本次至俄羅斯研習擴散接合技術，研習過程中對於擴散接合製程有了深入的了解，包含母材前處理、製程條件、擴散接合系統設備及後處理等等，擴散接合應用範圍廣泛，從早期金屬對金屬，一直到現在非常多的金屬和非金屬接合都可以利用擴散接合完成，甚至傳統熔焊無法達成的非金屬對非金屬高強度接合都可達成，故擴散接合技術之應用範圍已較早期擴大許多，希望未來能實際應用在工業生產之上。

國內目前擴散接合設備數量不多，主要的原因為設備價格昂貴，經由這次機會得知俄羅斯所製造之擴散接合設備性能也相當優良，但是價格較美國或日本之擴散接合設備便宜甚多，美國與日本之擴散接合設備售價多高達千萬台幣以上，俄羅斯之設備售價約為日本或美國的百分之五十至七十左右，值得經由管道進行設備製造之技術移轉，擴散接合需要在高真空環境進行，故高真空系統設備的建立製造技術也可以應用在其他製程技術之上，俄羅斯設備設計概念與歐美日較為不同，主要強調實用與可靠，並不強調自動化與數位化控制，這與我們目前潮流較為不同，經由手動操作的控制也可以達成相同的結果，也因如此使得設備成本較為低廉，也讓我學習到不同的設備組成以及設計方式，此行獲益良多。

我認為擴散接合技術應用在異種金屬板材及金屬與非金屬接合的領域會有很好的發揮，如銅鋁、陶瓷金屬及玻璃金屬，這些材料的接合都無法使用傳統的接合方法得到良好的品質，故未來應善加利用擴散接合技術於各種異種金屬與非金屬接合的領域。

這次的研習機會讓我學習到關於擴散接合的許多知識與技術，也讓我接觸到與台灣異同的人文與環境，對來我來是非常難得與珍貴的經驗，希望未來能持續精進關於金屬接合方面的技術，同時應用於實際工業生產方面。

參考文獻

- 一、擴散接合技術探討(莊東漢,台灣大學材料系,機械月刊
1995.12)。
- 二、Diffusion bonding composites for thermal engineering
components(Welding International 1997.11)。
- 三、Some aspects of the technology of production of the
composite material aluminium-multicomponent oxide
system(Welding International 1998.12)。
- 四、Solid state diffusion bonding:A joining and materials
fabrication process(DVS 1998)。
- 五、Diffusion welding of SiC-reinforced Al alloy matrix
components(DVS 1998)。
- 六、Flowing and setting behaviour of high-temperature
glass-ceramic brazes under joining conditions(DVS 1998)。
- 七、Bonding and interfacial structure of ceramic/metal
joints(Wedling International 1999.05)。
- 八、Process control in the electron beam active brazing of
ceramic-metal-joints(DVS 2002)。