

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

應用於電子產品外殼之 5052 鋁合金與 ABS 塑膠
超音波焊接技術之研究

Study of Ultrasonic Bonding Technology of Discrete ABS to
A5052 Aluminium Alloy for Electronic Device Cover
Application

研究生：王啟龍

指導教授：徐瑞坤 教授

中華民國 一零三年 九月

應用於電子產品外殼之 5052 鋁合金與 ABS 塑膠超音波焊接
技術之研究


Study of Ultrasonic Bonding Technology of Discrete ABS to
A5052 Aluminium Alloy for Electronic Device Cover
Application

研究生：王啟龍

Student : Chi-Lung Wang

指導教授：徐瑞坤 教授

Advisor : Ray-Quan Hsu



國立交通大學
機械工程學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Mechanical Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
In partial fulfillment of Requirement
for the Degree of
Master of Engineering
in

Mechanical Engineering

Sep. 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一零三年九月

應用於電子產品外殼之 5052 鋁合金與 ABS 塑膠超音波焊接技術之研究

研究生：王啟龍

指導教授：徐瑞坤

國立交通大學機械工程學系（研究所）碩士班

摘 要

因電子產品講求輕薄短小，金屬外殼儼然成為主流，但因傳輸速度的需求，使金屬電磁遮蔽效應更加嚴重，以致產品外殼上需要塑膠構件供電磁訊號穿透，為了能讓金屬與塑膠有效的接合，異質材料接合技術將是決定電子產品設計之關鍵。

超音波焊接提供了一個良好異質材料熔接方式，其原理是利用微孔洞機械固錨法接合兩者材料，並可藉由改變表面粗糙度與電化學處理等方式來提升接合強度。

本研究使用 5052 鋁合金與 ABS 塑料，以窗型對接法進行接合，配合砂紙研磨以及陽極氧化處理來製造奈米等級的孔洞，並交叉探討不同表面粗糙度與陽極處理電壓之大小，對孔洞型態生成與整體接合強度之影響。

結果顯示，經電化學加工後之表面粗糙度與接合強度並無明顯關聯。而在接合面受力的情況下進行超音波震盪會破壞陽極孔洞，使兩者無法接合。但若是使用超音波剪切擠入以垂直方向填入塑料，便可在不破壞陽極孔洞的情況下有效提升接合力，且可以藉由平整的鋁合金表面以及較大的工作電壓得到更高的接合強度。在適當參數之下，其平均接合強度可達 1.8Mpa。

關鍵字：

超音波焊接、異質材料接合、鋁合金、陽極氧化、表面粗糙度、ABS、奈米孔洞、固錨力。

Study of Ultrasonic Bonding Technology of Discrete ABS to A5052 Aluminium Alloy for Electronic Device Cover Application

Student : Chi-Lung Wang

Advisor : Dr. Ray-Quan Hsu

Department (Institute) of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

By chasing for compact and slim electronic device, nowadays, metal housing has become the mainstream. However, higher transmission speed has to face a new issue - the metal electrical shielding. It means combining a plastic component at housing is necessary. Therefore, the technology of Hybrid joint or how to effectively bond plastic and metal is a key of designing an electronic device in the future.

Ultrasonic welding provides a good way for Hybrid joint. The principle of it is using microvoids interlocking to bond two materials, it also can change surface roughness and electro chemical machining to improve the bond strength.

This paper is mainly focused on window type abutting joint between Aluminum 5052 alloy and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), and builds nanostructure voids on the surface of aluminum by using sandpaper and anodic aluminum oxidation (AAO), then cross compare the structure of voids and bond strength with different surface roughness and working voltage of AAO.

The result shows that there has no relation between the bond strength and the surface roughness after AAO. If the ultrasonic welding applied on the joints under pressure, AAO will be destroyed, the bonding will fail. However, if using ultrasonic cutting extrusion with vertical angle, the AAO won't be destroyed, the bond strength will increase. Moreover, bond strength can be improved by higher voltage and lower roughness. With appropriate parameters, the bond strength can reach to 1.8Mpa overall.

Keyword :

Ultrasonic welding, Hybrid joint, Aluminum, Anodic Aluminum Oxidation, Surface roughness, ABS, Nanostructure voids, Interlocking.

誌 謝

致所有愛我與我所愛

以及提供協助的任何人

豐富我兩年的碩士生涯

萬分感謝



啟龍 謹識
2014.09

目 錄

摘 要	i
ABSTRACT	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機與目的	3
1.2.1 鉚接接合 (Riveting)	4
1.2.2 卡溝接合 (Snap joint)	5
1.2.3 螺絲 (Screw)	5
1.2.4 嵌件射出接合 (Insert molding)	6
1.2.5 黏膠 (Adhesive)	7
第二章 文獻回顧	8
2.1 鋁合金特性	8
2.1.1 5052 鋁鎂系合金特性	10
2.2 塑膠	11
2.2.1 ABS 塑膠	12
2.3 超音波焊接	14
2.4 本實驗介紹	15
2.5 超音波焊接應用於塑料-鋁材接合之文獻	16
2.6 超音波焊接應用專利	17
2.6.1 應用超音波焊接黏合金屬與塑膠	17
2.6.2 電子產品之微槽天線設計	18
2.7 防水防塵等級	19
2.8 陽極氧化處理與接合強度	21
2.8.1 經微弧氧化表面處理之 5052 鋁合金對 PBT 高分子塑料接合強度影響 之研究	21
2.8.2 經電化學處理鋁合金 1050 與射出成形塑料接合效果之探討	22
第三章 實驗方法與流程	23
3.1 實驗流程圖	24
3.2 實驗材料試片與設備	25
3.2.1 鋁合金基板	25
3.2.2 ABS 塑膠蓋板	26
3.2.3 超音波焊接	26

3.3 試片觀察與檢驗	29
3.3.1 倒角比較	29
3.3.2 接合強度拉伸試驗 I.....	29
3.3.3 接縫觀察	33
3.3.4 水密性檢驗	36
3.3.5 表面粗度量測	38
3.4 表面處理與拉伸試驗	38
3.4.1 陽極處理	39
3.4.2 研磨參數	39
3.4.3 交叉組合試片	40
3.4.4 接合強度拉伸試驗 II	41
第四章 結果與討論	42
4.1 拉伸試驗接合強度	42
4.2 90°接合強度與表面粗糙度.....	42
4.3 90°接合強度與陽極表面	44
4.4 研磨表面與陽極加工後孔洞之關係.....	47
4.5 85°接合強度與陽極表面	50
4.6 85°試片觀察	53
4.7 90°與 85°接合強度綜合比較	60
4.7.1 90°接合成功分析	63
4.7.2 85°接合失敗分析	67
第五章 結論與未來展望	69
5.1 結論	69
5.2 未來展望	70
第六章 參考文獻	71

表目錄

表 1.1.1 各類無線訊號對應之頻率.....	2
表 1.1.2 各頻率訊號對應純鋁之集膚深度〔2〕.....	3
表 2.1.1 鋁合金代號〔4〕.....	9
表 2.1.2 5052 鋁合金之密度分布.....	10
表 2.1.3 5052 非熱處理鋁合金之適應性〔5〕.....	11
表 2.2.1 常用塑膠分類〔6〕.....	12
表 2.2.2 ABS 性質.....	13
表 2.7.1 IP 等級代碼對照.....	20
表 3.2.1 變動參數適用範圍.....	28
表 3.3.1 85° 正擠與反擠接合強度.....	33
表 3.3.2 水密實性檢驗.....	36
表 3.3.3 試片表面粗度.....	38
表 3.4.1 表面處理參數組合.....	38



圖目錄

圖 2.3.1 超音波焊接示意圖.....	14
圖 2.4.1 機械固錨接合.....	15
圖 2.4.2 對接法與搭接法.....	15
圖 2.4.3 超音波剪切擠入塑料熔化示意圖.....	16
圖 3.1.1 實驗流程圖.....	24
圖 3.2.1 鋁合金基板倒角示意圖.....	25
圖 3.2.2 塑膠超音波焊接機 Ksonic-KWB1420.....	27
圖 3.2.3 超音波焊頭.....	27
圖 3.2.4 下模具.....	28
圖 3.3.1 拉伸試驗示意圖.....	30
圖 3.3.2 上夾具.....	30
圖 3.3.3 下夾具.....	31
圖 3.3.4 拉伸前.....	31
圖 3.3.5 拉伸後.....	32
圖 3.3.6 85°正向擠入.....	33
圖 3.3.7 85°反向擠入.....	33
圖 3.3.8 加工完表面殘留溢料.....	34
圖 3.3.9 研磨後處理完成.....	34
圖 3.3.10 90°接縫觀察 ×800.....	35
圖 3.3.11 85°接縫觀察 ×200.....	35
圖 3.3.12 水密實驗示意圖.....	37
圖 3.3.13 水密實驗實際照片.....	37
圖 4.1.1 接合強度對照表.....	42
圖 4.2.1 90°接合強度-表面粗度.....	43
圖 4.3.1 陽極電壓 50V×10000 之表面.....	45
圖 4.3.2 陽極電壓 100V×10000 之表面.....	45
圖 4.3.3 陽極電壓 50V×50000 之表面.....	46
圖 4.3.4 陽極電壓 100V×50000 之表面.....	46
圖 4.4.1 陽極電壓 50V×10000 粗糙原材料之表面.....	48
圖 4.4.2 陽極電壓 50V×10000 經 240 號砂紙研磨之表面.....	48
圖 4.4.3 陽極電壓 50V×50000 粗糙原材料之表面.....	49
圖 4.4.4 陽極電壓 50V×50000 經 240 號砂紙研磨之表面.....	49
圖 4.5.1 85°接合強度-表面粗度.....	51
圖 4.5.2 90°數據點位.....	52

圖 4.5.3 85°數據點位	52
圖 4.6.1 拉伸試驗後接合處表面殘留白色粉末	53
圖 4.6.2 90°陽極處理表面經超音波加工後 ×10000	55
圖 4.6.3 85°陽極處理表面經超音波加工後 ×10000	55
圖 4.6.4 90°陽極處理表面經超音波加工後 ×50000	56
圖 4.6.5 85°陽極處理表面經超音波加工後 ×50000	56
圖 4.6.6 85°電壓 50V 經超音波加工後 ×10000	57
圖 4.6.7 85°電壓 100V 經超音波加工後 ×10000	57
圖 4.6.8 85°電壓 50V 經超音波加工後 ×50000	58
圖 4.6.9 85°電壓 100V 經超音波加工後 ×50000	58
圖 4.6.10 240 號砂紙研磨+陽極+超音波加工 ×10000	59
圖 4.6.11 240 號砂紙研磨+陽極+超音波加工 ×50000	59
圖 4.7.1 90°與 85°接合強度	61
圖 4.7.2 原材料表面 ×10000	62
圖 4.7.3 原材料表面 ×30000	62
圖 4.7.4 90°陽極電壓 V=50 ABS 進入陽極孔洞 ×10000	64
圖 4.7.5 90°陽極電壓 V=100 ABS 進入陽極孔洞 ×10000	64
圖 4.7.6 90°陽極電壓 V=50 ABS 進入陽極孔洞 ×50000	65
圖 4.7.7 90°陽極電壓 V=100 ABS 進入陽極孔洞 ×10000	65
圖 4.7.8 ABS 薄膜與陽極孔洞接合 ×10000	66
圖 4.7.9 ABS 薄膜與陽極孔洞接合 ×50000	66
圖 4.7.10 85°接合面受力受超音波震盪	68

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著人類科學與技術的演進，商用電子產品逐漸朝向輕薄短小的趨勢發展，在此發展下，產品的構件開始面臨到各種物理極限上的挑戰。例如產品的外殼，同時要求厚度薄、強度高、加工方便、價格合理、講究外觀質感以及防水防塵等等，造成了許多材料選擇上的限制。而現今主流的外殼材料，常見有三大類別，一、金屬類如鋁、鎂、不鏽鋼；二、塑膠聚合物如 PVC、ABS、PC；三、其他特殊材料例如碳纖維、玻璃、陶瓷。而同時能兼顧以上所有要求的材料中，就以鋁合金和塑膠為最符合的主流選項，也是較受廠商青睞的選擇。

近年來，在以金屬殼為終端設計的主流影響下，新款的高階手機多以金屬外觀為設計主軸。其中鋁合金係屬較常見的材料。相較於其他金屬，鋁合金有質量輕、比強度較高、機械性質佳、耐磨、耐蝕、散熱性佳、易於大量加工、材料價格相對較低、電磁遮蔽效果好等優勢，適合日漸講究輕薄的電子產品。根據諸多科技研究報告，如巴克萊Barclays Plc、摩根史丹利Morgan Stanley於TAIPEI TIMES [1] 中指出，目前市面上的高階手機與高價平板電腦，仍不會考慮完全採用

塑膠外殼背蓋，可見金屬外觀仍然是目前的主要選項。

金屬外殼有著高電磁遮蔽的優點，但同時也是電子產品在布置天線機構時致命性的缺點。電磁遮蔽效應（Shield effective）由導體之集膚效應（Skin effect）所致，即時變電場在導體中分配不均勻，電流易集中於導體表面，集膚深度（Skin depth）則決定電場能穿透導體深度之衰弱程度。集膚深度主要由訊號本身之頻率（Frequency）與介質材料之導電率（Conductivity）所決定。目前商用電子產品常用的訊號如 WIFI、GSM（2G）、UMTS（3G）、LTE（4G）、GPS（全球衛星定位）、Bluetooth（藍芽）等常用訊號，頻率介於 890MHz 至 2.6GHz 間，各類訊號之頻率見表 1.1.1。

表 1.1.1 各類無線訊號對應之頻率

訊號名稱	GSM	UMTS	WIFI	LTE		GPS	Bluetooth	NFC
俗名	2G	3G	中程天線	4G		全球衛星定位	藍芽	近場通訊
頻率 MHz	890 ~ 960	800 ~ 2100	2400	700 1500~ 2100 2300~ 2600 2600	USA Japan China EU	1227 ~ 1575	2450	13.56

資料來源：本研究整理

就常見頻率而言，若以鋁合金做計算，其集膚深度會落在 2.73 μ m 至 1.6 μ m 之間，常見的訊號對應頻率與純鋁之集膚深度可見表 1.1.2

[2]，即在該厚度鋁板的遮蔽下，訊號會衰減至原有的 e^{-1} ，這將使訊號傳遞不易，大幅增加了天線與外觀設計平衡上的困難，以致各種限制或加工不便產生。

表 1.1.2 各頻率訊號對應純鋁之集膚深度 [2]

頻率 (MHz) / 集膚深度 Depth (μm)					
MHz	0.01	0.05	0.1	0.5	1
μm	819.24	366.38	259.07	115.86	81.92
MHz	5	10	50	100	250
μm	36.64	25.91	11.59	8.19	5.18
MHz	450	800	900	1000	1800
μm	3.86	2.90	2.73	2.59	1.93
MHz	2400	3600	5800		
μm	1.67	1.50	1.08		

資料來源：北京拓文科技發展有限公司

因為金屬外殼對天線設計上的限制，以異質材料接合是現階段最普遍的解決方法，但該目前的方法仍有許多問題待克服。本研究目標是開發一種不同於傳統的加工方式，以超音波焊接工法為主軸，希望能解決金屬外殼電磁遮蔽與異質材料接合上的各種問題，並期待能為電子產品在外殼與天線設計上創造出更多的可能性。

1.2 研究動機與目的

對於電磁遮蔽的解決方法，目前常以異質材料搭配金屬外殼局部開孔做為天線布局區域，其接合方式將會衍伸出兩種問題發生。

- 一、 在異質材料組合的狀況下，犧牲了外殼一體成形的保護效果，接縫處的防水防塵性能大幅降低，設備易遭受微塵、使用者汗水或各種水份侵入，危害內部電子元件，這與未來電子產品要求防水防塵的走向背道而馳。
- 二、 在金屬外殼上開槽孔，導致產品外觀受影響，而外觀屬電子產品銷售的重點之一，整體設計必須在如何開孔與產品的工業設計上做出取捨，是近期天線設計上的難處。

在現今主流材料塑膠與金屬接合的加工方式來說，主要以鉚接 (Riveting)、卡溝 (Snap joint)、螺絲 (Screw)、嵌件射出接合 (Insert molding)、黏膠 (Adhesive) 為主，以下將介紹各種方式的優缺點。

1.2.1 鉚接接合 (Riveting)

鉚接方面，相較於焊接，鉚接的速度較慢，在精密加工的困難度中，無論以手工還是自動化加工都比焊接來的高。而鉚接本身密合度不佳，需要精確的公差需求，常有防水防塵的問題。同時，鉚接必須要有鉚釘頭的存在，這樣的設計在要求輕薄短小的電子產品上越來越不被採用。

1.2.2 卡溝接合 (Snap joint)

卡溝方面，許多問題與鉚接雷同，卡溝的密合度不佳，同樣會有防水防塵的問題，卡溝也一樣也受到體積大小的限制，若是設計的太小會有斷裂的風險，太大則會因產品內部空間不足，在講求輕薄短小的電子產品中漸不敷使用。

1.2.3 螺絲 (Screw)

螺絲接合法仍有和鉚接、卡溝相同的問題，有密合度、空間不足等致命缺點，但因螺絲有著方便拆卸的絕對優勢存在，為了維修考量目前仍是電子產品上下部接合處不可或缺的接合方式。在電子產品的應用上，若是金屬部分攻螺紋，常使用螺絲/陰螺紋的方式進行接合，若是塑膠部分攻螺紋，則常使用自攻螺絲的方式。螺絲/陰螺紋在金屬件上的加工，因電子產品的螺絲機構件普遍小於 1~2mm，螺紋更是逼近 0.1mm，對金屬工件攻螺紋的難度相當高，也因此提高了加工的成本。塑膠工件的螺絲/陰螺紋法上，若塑膠上欲製做出陰螺紋，普遍上使用的是埋植螺絲法 (Insert)，但該方法既費工又耗時。為了節省時間與成本，塑膠件普遍使用自攻螺紋法，但自攻螺紋法也有其他問題存在，自攻螺絲因直接使用螺絲攻螺紋，會有廢料排出的問題，

這將產生毛邊或者不平整，再者鎖件容易因為自攻螺絲攻螺紋時產生的鎖入應力而發生龜裂或破損的情況，如欲避免該問題，則被鎖件需要要求較大的肉厚以承受鎖入應力，在整體空間越趨狹小的電子產品難有大量的應用。

1.2.4 嵌件射出接合 (Insert molding)

嵌件射出接合相較於以上三種方法，屬於較佳的一種加工方式，有別於鉚接、卡溝、螺絲，嵌件射出接合可以製做出較薄的金屬/塑膠對接接合板，同時嵌件射出接合也有較好的氣密性與水密性，但嵌件接合卻有一個相當致命的缺點，在異質材料接合上，我們必須考慮兩種材料的熱膨脹係數，在 IEC (International Electro Technical Commission) 國際電工協會 [3] 的建議下，手機的工作溫度範圍約介於 -20° 至 45°C (-4° 至 113°F)間，以鋁合金/熱膨脹係數 $23.8(10^{-6}\text{m/m K})$ 與 ABS 丙烯腈/熱膨脹係數 ($30.4\text{-}73.8 10^{-6}\text{m/m K}$)，在這樣的工作溫度範圍下，嵌件射出接合將會產生膨脹係數不同的問題。另一解決方案則是使用相同熱膨脹係數的塑膠材料聚醚醚酮 (PEEK)，但該材料的價格昂貴，不適合大量生產，故嵌件射出接合仍然不是解決外殼塑膠與金屬件接合的最好解決方案。

1.2.5 黏膠 (Adhesive)

黏膠是過去塑膠金屬接合常用的加工方式之一，普遍使用在筆記型電腦上，手機則較少使用。近年來因為環保意識的高漲，業界逐漸淘汰使用具高污染性的金屬塑膠黏合膠水，因該類膠水通常使用較多的有機聚合物進行製作，對於要求環保生產過程的國際大廠來說已漸欲淘汰。而黏膠本身亦有需多問題需要克服，包括精密度不佳、穩固性較差、自動化加工困難、黏膠溢料導致沾黏、加工等待時間過長以及黏膠本身因時間或使用而老化脆裂等問，最重要的是，使用黏膠難以克服產品接縫防水的問題。

整體來說，以上五種常用的加工方式都有其問題存在，而最重要的共通點是，這五中方法皆難以克服電子產品對於防水防塵上的需求，故本實驗將嘗試使用焊接方法中，精密度較高、加工速度較快，且具有優異防水防塵效果的超音波焊接，對鋁合金以及 ABS 材料進行異種材料接合。

第二章 文獻回顧

2.1 鋁合金特性

鋁 Aluminum (Al)，1808 年漢弗里·戴維爵士首次使用了「Aluminum」這個詞而沿用自今，其原子序為 13，原子量 26.981，在地殼上存量豐富（約 7.57%），晶體結構為面心立方晶格，外觀呈銀白色。

鋁的比重約為 2.7，約為鋼鐵的三分之一，熔點落在 660°C 左右，是目前輕金屬中被人類應用最廣泛的一種材料（輕金屬共有：鋁、鎂、鈦）。鋁的特性有：比强度高、質輕、耐腐蝕、導熱性佳散熱性好、導電性高電磁遮蔽佳、美觀、無毒、可環保回收、易於加工成型與進行表面處理等特點，是近年來金屬材質應用在電子產品外殼上最廣泛的材料。

鋁合金主要是以鋁為基準再添加其他元素所組成的合金，常見的添加元素有銅、矽、錳、鎂、鋅等元素，其中以銅元素是鋁合金最重要的添加元素之一，不管任何種類的鋁合金都需要添加銅元素來調配。

鋁合金代號是以美國鋁業協會(Aluminum Association, 簡稱 AA)之標準為基礎, 以四位數字代表各種不同的合金成分, 目前我國通用的是以美國鋁業協會之標準編號。如表 2.1.1 [4] 所示, 四位數字中第一位數字為合金系統。第二位數是用來區分未改良型與改良型, 0 數字代表未改良型的合金, 而 1234... 則是代表為改良型合金, 通常係指雜質含量較少的合金。最後兩位數若是在純鋁系中代表鋁的純度, 在鋁合金系中, 則是用以區別同一系統合金成分上的差別。以 6061 為例, 第一位數 6 表示其為鋁鎂矽合金, 第二位數 0 表示為未改良型, 最後 61 是表示為此於 6XXX 系中的合金代號。

表 2.1.1 鋁合金代號 [4]

第一數字	第二數字	第三、四數字
1XXX: 純鋁	表示為原合金中雜質成分含量或主要添加合金元素含量數字 用來區分未改良型及改良型	為純鋁時, 後兩位數則表示鋁的純度
2XXX: Al-Cu 系合金		
3XXX: Al-Mn 系合金		
4XXX: Al-Si 系合金	0: 表示為未改良型	為合金時, 後兩位數則是用來區分同一系統合金成分上的差別
5XXX: Al-Mg 系合金		
6XXX: Al-Mg-Si 系合金	1: 表示原合金經第一次修改	
7XXX: Al-Zn-Mg 系合金	2: 表示原合金經第二次修改	
8XXX: 其他		
9XXX: 備用新合金編號		

資料來源: Laird Technologies

鋁合金可依熱處理的性質歸分類成兩種類型, 其兩種類型為熱處理型及非熱處理型, 熱處理型合金主要為 2000 系(鋁鎂銅合金)、6000 系(鋁鎂矽合金)、7000 系(鋁鋅鎂合金); 非熱處理型合金主要為

1000 系（純鋁）、3000 系（鋁錳合金）、4000 系（鋁矽合金）、5000 系（鋁鎂合金）。熱處理型之鋁合金系列，是以熱處理的方式對鋁合金進行固溶處理、淬火及時效處理等過程，並藉由析出硬化來獲得強度，其性質會因時效處理的不同而產生變化。在非熱處理型之鋁合金系列中，是屬於在加工及成形的過程可以得到強度提升，也就是所謂的加工硬化，此型的鋁合金也可以藉由不同的退火處理來調整其合金內部的性質。

2.1.1 5052 鋁鎂系合金特性

本實驗將以應用於電子產品中最常見的 5052 鋁合金為標準實驗件，5052 鋁合金是由矽、鐵、銅、錳、鎂、鉻、鋅所組成，其密度分布如表 2.1.2 所示，是應用最廣的一種防鏽鋁，5052 鋁合金之適應性質如表 2.1.3 [5] 所示，屬於有中等強度之加工硬化合金、成形加工性良好，特性是抗疲勞強度高，可塑性佳，耐鹽類腐蝕性，焊接性良好，可拋光加工，易於進行表面處理，尤其以陽極氧化處理時更佳。

表 2.1.2 5052 鋁合金之密度分布

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	其他
(Wt %)	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2~2.8	0.15~0.35	0.10	0.05

資料來源：本研究整理

表 2.1.3 5052 非熱處理鋁合金之適應性〔5〕

物理性質		其他性質	
比重	2.69g/cm ³	耐蝕性	極佳
彈性率	7.2 kg/mm ² · 10 ³	陽極表面處理	極佳
剛性率	2.7 kg/mm ² · 10 ³	熔接性	佳
熔融溫度範圍	595-650 °C	鑄造性	佳
比熱 (0-100 °C)	0.23 cal/g · °C	加工成形性	佳
線膨脹係數 (20-100 °C)	23.4 · 10 ⁻⁶ /°C	切削性	普通
熱傳導率 (25 °C)	0.33cal/cm · s · °C	蠟焊性	差

資料來源：Laird Technologies

2.2 塑膠

泛指合成樹脂，因形狀類似天然樹脂之『松樹脂』而得名，合成樹脂是人類以化學工法合成所得之樹脂，故稱之塑膠。

依據美國材料試驗協會的定義，塑膠是一種人工合成的有機高分子化合物，受熱具有可塑性，在壓力及加熱下能改變本身形狀，在去除壓力冷卻後能固定形狀，加工方式則是以加熱、加壓以流體的方式來成型，完成時呈現固態。由於塑膠具備廉價、耐熱性、高強度、耐化學藥品等各項優異性質，因此廣泛應用於資訊設備、家電產品、汽車零組件、電子零組件、機械五金、運動休閒器材等領域。

塑膠可分為兩大種類，熱塑性塑膠與熱固性塑膠，其中熱塑性塑膠又可以再分為三類，1. 泛用塑膠 2. 工程塑膠 3. 合膠，各塑膠所屬分類詳見表 2.2.1〔6〕。

表 2.2.1 常用塑膠分類 [6]

塑膠分類				
熱塑性 塑膠	泛用 塑膠	結晶性		聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)
		非結晶性		聚苯乙烯 (PS)、聚氯乙烯 (PVC) ABS 塑膠、壓克力塑膠 (PMMA)
	工程 塑膠	泛用 工程 塑膠	結晶性	聚醯胺 (PA)、聚縮醛 (POM) 聚丁 稀對苯二甲酸酯 (PBT)
			非結晶性	聚碳酸酯 (PC) 聚氧化二苯 (PPO)
	工程 塑膠	高性能 工程 塑膠	結晶性	聚硫化甲苯 (PPS)、聚醯亞 胺 (PI)、液晶高分子 (LCP)、聚四氟 乙烯 (PTFE)、聚二醚酮 (PEEK)
			非結晶性	具芳香酯 (PAR)、聚砜 (PSF)、聚 醚砜 (PES)、聚醚醯亞胺 (PEI)、聚 醯胺亞胺 (PAI)
	合膠	PPO/PS ,PC/ABS, PC/PBT, PC/PET, PA/PP 等		
熱固性 塑膠	粉醛塑膠 (PE)、尿素塑膠 (UF)、三聚氰胺塑膠、醇酸塑膠、不飽和 聚酯 (UP)、環氧樹脂、聚胺基甲乙酯 (PU)、矽氧塑膠 (Silicone)			

資料來源：[功能性塑膠之加工與應用介紹](#)

2.2.1 ABS 塑膠

ABS 塑膠，比重為 1.05，成型收縮率在 0.4-0.7% 左右，成型溫度介於 200~240°C 間，此種聚合體在一九四〇年代由機械摻配法製得，英文全名為 Acrylonitrile Butadiene Styrene，屬熱塑性塑膠的一種，其由丙烯腈 (Acrylonitrile)、丁二烯 (Butadiene) 及苯乙烯 (Styrene)

三種化合物的共聚物的縮稱。ABS 塑膠綜合性能好，具耐高衝擊性，化學性質穩定，電性能良好，高耐熱，阻燃、可透明化、柔韌性良好等優點，適用製作一般機械零件、耐磨零件以及電訊零件等等。其各類性質如表 2.2.2 所示。

表 2.2.2 ABS 性質

ABS							
物理性質	單位	比重	1.07	化學性質	X	弱酸	好
	X	外觀	白色		X	強酸	可
	%	吸水率	0.1-0.8		X	弱鹼	好
	X	光照	老化		X	強鹼	好
	X	加工性	好		X	有機溶劑	無
機械性質	kg/cm ²	硬度	R80-118	熱性質	°C	熱變形溫度	94-107
	10 ⁴ kg/cm ²	抗拉強度	170-630		°C	耐熱溫度	60-110
	kg/cm ²	延長率	10-140		10 ⁻⁶ /°C	熱膨脹係數	6-13
	kg/cm ²	抗拉彈性率	0.7-2.9				
	Kg · cm/cm ²	壓縮強度	188-177				
	D790	彎曲強度	250-950				
	IZOD	衝擊強度	3.8-66				

資料來源：信龍科技工程企業有限公司 <http://www.hsinlung.com/>

2.3 超音波焊接

超音波焊接的原理，是將電能輸入超音波產生器後，轉化為超音波震盪，並透過焊頭（Horn）將聲能聚集後，會在接觸面產生強大反覆應力以致摩擦發熱熔接，其示意圖可見圖 2.3.1。其有著加工快速、易於自動化、節能、低成本、低噪音、低汙染、無廢熱、水密性以及連續性佳、低熱效應以及適合複雜形狀等優點，並且可因加工材料不同，分為金屬超音波焊接機與塑膠超音波焊接機兩大類，相當適合講究輕薄短小的電子產品作加工手段。

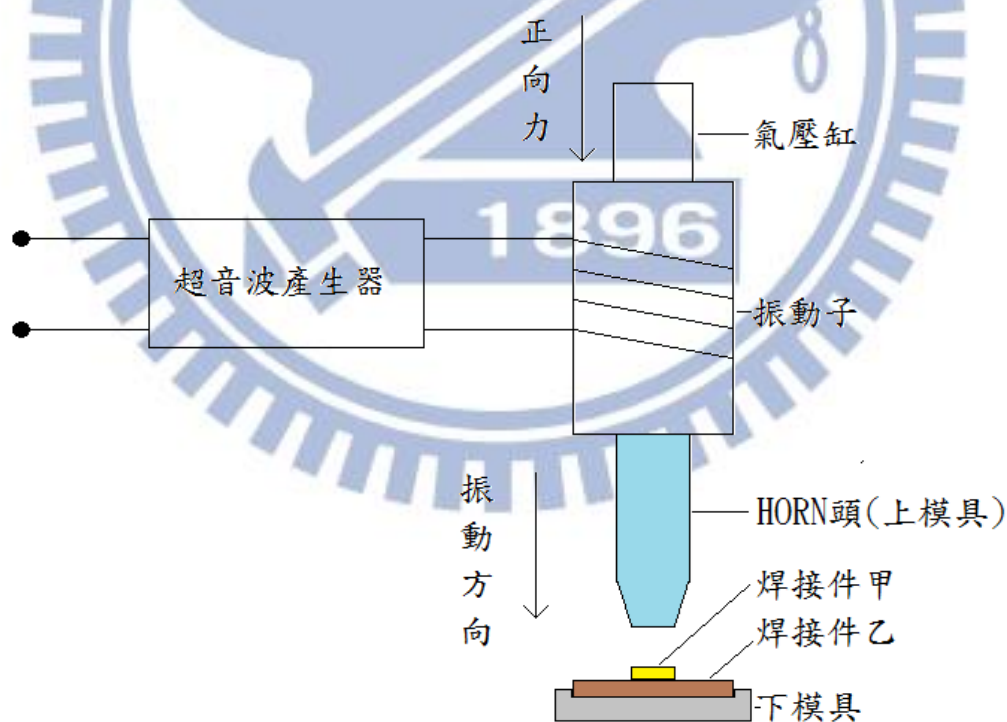


圖 2.3.1 超音波焊接示意圖

2.4 本實驗介紹

本實驗以超音波焊接進行金屬、塑膠異質材料接合。因異質材料的熔點不同，任何想要以同時熔化兩者的接合方式皆會失敗。為了提供足夠的接合強度，本實驗以機械固錨的原理，利用微孔洞機械固錨法增加接合強度，見圖 2.4.1。而本實驗重點主要著重於兩點

- 一、改良傳統接合方式，以對接法取代搭接法，見圖 2.4.2。
- 二、以超音波剪切擠入進行加工，因此可將構件做的更薄，該加工塑料僅於異質材料接觸區域小部分熔化，見圖 2.4.3。

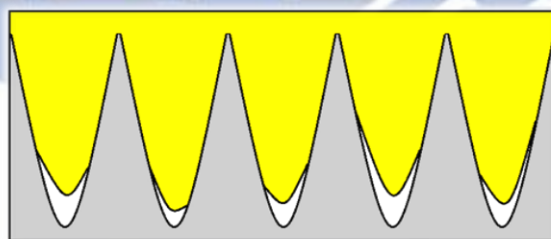


圖 2.4.1 機械固錨接合



圖 2.4.2 對接法與搭接法

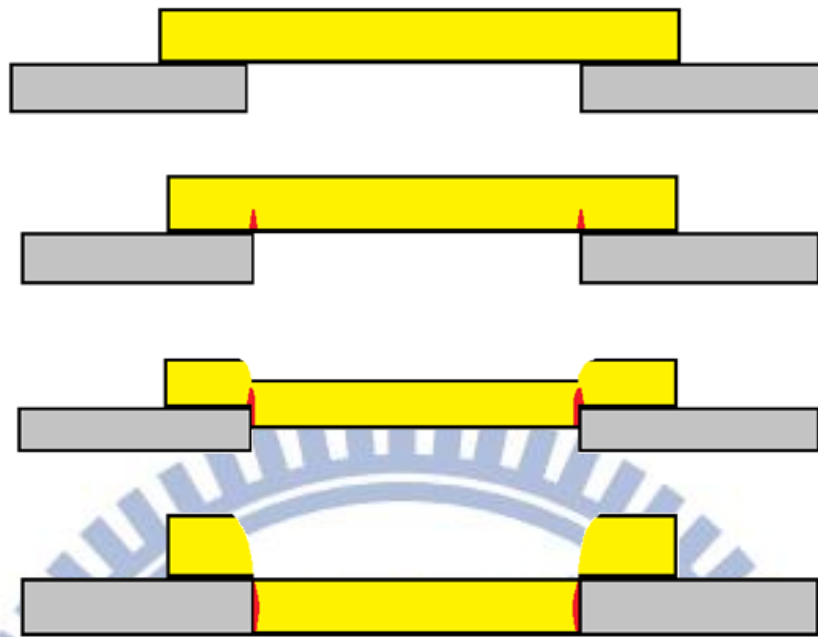


圖 2.4.3 超音波剪切擠入塑料熔化示意圖

2.5 超音波焊接應用於塑料-鋁材接合之文獻

2004 年 Sebastian Kruger, Guntram Wagner, Dietmar Eifler 等人在 “**Ultrasonic Welding of Metal / Composite Joints**” [7] 一文中提出，運用超音波焊接進行一系列的實驗，該篇論文使用 PA-12/E-Glass 聚十二內酰胺/聚酰胺（俗名：尼龍 12）含玻璃纖維，對鋁合金 AlMg3（5754 鋁合金）薄板進行接合，研究中指出超音波焊接的震幅（Amplitude）、能量（Joule）、焊接施加外力（Welding Force）、持續時間（Hold time）、兩者材料的完整、破碎與否，皆會對接合力產生影響，其中針對 PA-12/E-Glass 與 5754 鋁合金以塑膠超音波機接合之最佳條件為，超音波震幅設定為 30 μ m、焊接施加外力 2.5 MPa、能

量供給 2000 焦耳，玻璃纖維與鋁合金本體並不會產生破碎，而加工後其最大拉伸應力可達 2.1 MPa，故證明超音波焊接確實可以應用在金屬與塑料接合上。

2.6 超音波焊接應用專利

目前許多電子設備生產大廠，已分別對異質材料接以及金屬外殼天線設計領域展現出相當大的興趣，在專利卡位戰上早已佈局該方面類似應用的專利，這顯示本研究的方向正確也有其必要性。

2.6.1 應用超音波焊接黏合金屬與塑膠

在超音波焊接的應用專利方面，由美國專利局第 8049120 B2 字號在 2011 年發表之專利“**Ultrasonic bonding discrete plastic part to metal**” [8]，中譯：『應用超音波焊接黏合金屬與塑膠』（專利持有者：APPLE INC., Cupertino, CA, US）中表示，由於金屬與塑膠兩者之間的熔點差距過大，任何使用加熱融接兩材料的方式幾乎都不會成功，這使得設計師在複雜功能電子產品的外殼與內部接合上受到很大的局限性。但電子產品的金屬外殼可藉由表面處理例如陽極氧化處理、噴砂、機械刻痕與各種加工方式表面粗化後，再以超音波焊接將塑膠

部分填入進行接合。該專利顯著證明在未來趨於輕薄短小的電子產品中，超音波焊接的重要性將會有舉足輕重的影響。

2.6.2 電子產品之微槽天線設計

在電子產品天線設計應用的專利上面，由美國專利局第 8373610 字號專利“**Microslot antennas for electronic devices**” [9]，中譯：『電子產品之微槽天線設計』（專利持有者：APPLE INC., Cupertino, CA, US）中表示，以各種技術在電子產品的金屬外殼上，製作微米等級之微槽刻痕，並於微槽刻痕內填入金屬細線，再填充以絕緣物質如環氧樹脂類的塑膠，最後再選擇性使用表面處理技術如陽極氧化鋁等等，以製作肉眼無法觀察到的微槽天線。其中，專利以筆記型電腦作為展示，但同時提到該專利可以應用於各種可攜式電子產品，如智慧型手機與平板電腦之上，檔案顯示，該專利可將蜂巢式天線（Cellular）與無線天線（Wireless Radio）整合到產品金屬外殼中，進而節省產品內部空間，顯示現下的確有金屬殼與天線設計上兩難的需求存在。

值得一提的是，該專利主要探討的是集膚深度較深（意味著對金屬穿透率較高）的訊號，仍然沒有辦法解決高頻訊號如 WIFI、Bluetooth、3G 與未來因傳輸速率要求，頻率只會日漸增加的 4G(LTE)、

5G 等訊號之金屬外殼遮蔽問題，顯現本文能解決比該專利更廣泛的問題。

2.7 防水防塵等級

防水防塵等級 IP (Ingress Protection Rating)，中譯：『異物防護等級』，是由國際電工協會於 IEC 529 (BS EN 60529: 1992) 外包裝保護等級 (IP code) 中宣佈，常用於電子產品的檢驗 [10]。

IP 等級分為兩部分代碼 IPX_1X_2 ，分別以 X_1 、 X_2 兩數字來表述，以 IP21 為例 $X_1=2$ 、 $X_2=1$ ，分別代表 $X_1=2$ 可防止手指觸摸、 $X_2=1$ 可經受垂直落下的水滴，詳細的代碼對照可見表 2.7.1。第一個數字 X_1 表明設備抗灰塵或人體意外碰觸的程度，第二個數字 X_2 則表明設備防水之能力，需要注意的一點是，其數字僅代表檢驗通過該項目，並無高低順序之分。當設備不符合任何一項檢驗時，代碼則以 X 替代。

表 2.7.1 IP 等級代碼對照

防塵等級 (固體) (X)			防水等級 (液體) (Y) 無負面效果		
0	—	沒有保護	0	—	沒有保護
1	50mm	如手背意外觸摸	1	滴水	可經受垂直落下水滴
2	12mm	如手指	2	15°滴水	可經受 15°垂直角的水花噴射
3	2.5mm	如金屬絲	3	60°噴霧	可經受 60°水花噴霧
4	1.0mm	如細小金屬絲、工具意外進入	4	潑濺	水由任意角度潑濺
5	防塵	允許對設備無負面效果的灰塵有限進入	5	水柱	由 30KPa 水柱任意角度噴射
6	完全防塵	完全防止灰塵、粉塵進入	6	高壓水柱	由 100KPa 水柱任意角度噴射
			7	水深	浸入深度由設備頂部至多 1 公尺，底部至少 15 公分，持續 30 分鐘
			8	水深	持續浸入，深度自訂

資料來源：本研究整理

2.8 陽極氧化處理與接合強度

陽極氧化 (Anodic Oxidation) 是將金屬鋁材透過電化學的方式進行加工，方法是將待處理表面放置於電極陽極處，並浸泡於電解液(如硫酸、鉻酸、草酸、磷酸)中電解而因此得名，鋁材表面透過電解生成一層氧化物薄膜，此薄膜表面會由氧化鋁生成奈米級的孔洞，其大小介於 50 – 420nm 之間 [11][12]，該表面可使鋁材獲得更好的耐蝕、耐磨、硬度以及美觀等效果。

2.8.1 經微弧氧化表面處理之 5052 鋁合金對 PBT 高分子塑料接合強度影響之研究

2013 年林治濤於「經微弧氧化表面處理之 5052 鋁合金對 PBT 高分子塑料接合強度影響之研究」[13] 中提出，以熱壓接合 PBT 塑料與陽極氧化表面處理之 5052 鋁合金，其接合孔洞率將影響接合強度，且孔洞越大則接合強度越強，該文獻比較陽極氧化與微弧氧化兩者表面處理後接合強度之差異，可見鋁合金表面經陽極氧化處理以平均 7MPa 之接合力大於微弧氧化處理之 4MPa，顯示陽極氧化處理仍是金屬塑膠異質材料接合的最佳選擇。

2.8.2 經電化學處理鋁合金 1050 與射出成形塑料接合效果之探討

2012 年鐘權任於「經電化學處理鋁合金 1050 與射出成形塑料接合效果之探討」〔14〕中提出，以射出成形加工 FR-PBT1210G6 ANC1 - 30% 玻璃纖維強化級 PBT 與鋁合金接合，微弧氧化表面無法提供鋁合金表面足夠的接合強度，而陽極氧化鋁則能夠使塑料接合於薄膜之上，但其抗剪強度沒有明顯趨勢，大小落在 6-10MPa 之間。



第三章 實驗方法與流程

本論文的研究實驗主要部份可分為三部分。

3.1 探討試片與超音波焊接的最佳參數。

3.1.1 鋁合金接合面凹槽倒角

3.1.2 ABS 蓋板

3.1.3 超音波焊接之頻率、震幅、下壓力、熔接時間、固化時間、
延遲時間

3.2 試片觀察與檢驗

3.2.1 倒角比較

3.2.2 接合強度拉伸試驗 I

3.2.3 接縫觀察

3.2.4 水密性檢驗

3.2.5 表面粗度量測

3.3 表面處理與拉伸試驗

3.3.1 陽極處理

3.3.2 研磨參數

3.3.3 交叉組合試片

3.3.4 接合強度拉伸試驗 II

3.1 實驗流程圖

實驗流程圖如圖 3.1.1

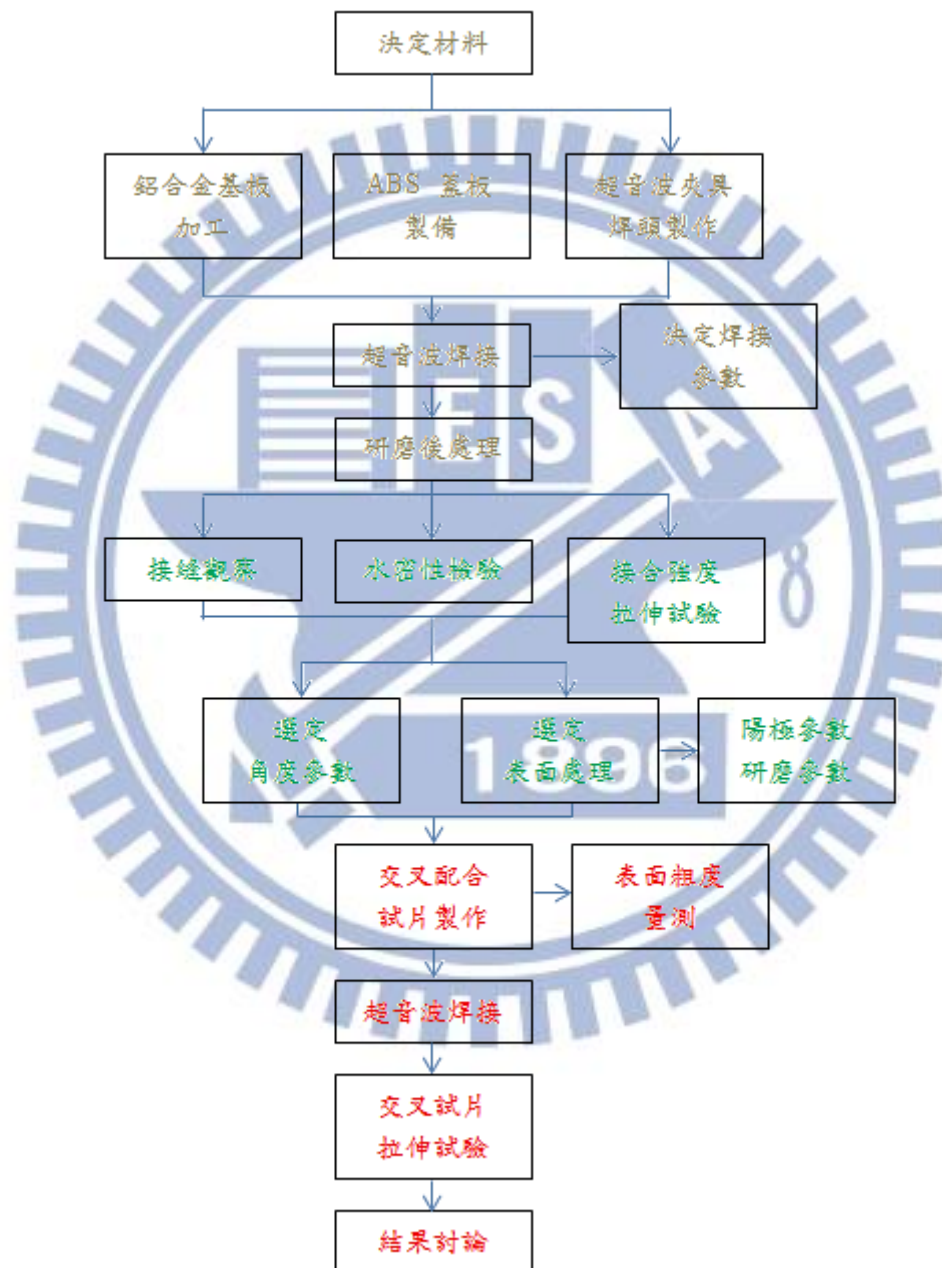


圖 3.1.1 實驗流程圖

3.2 實驗材料試片與設備

3.2.1 鋁合金基板

本實驗選用 5052 鋁合金基板做為試片，尺寸為

長 60mm × 寬 40mm × 厚 2mm

其中以基板中心點上方 15mm 處為中心，開一長 20mm × 寬 30mm 完全貫穿之長方形槽孔。其下半面尺寸則由倒角設計決定，槽孔與倒角處將利用線切割與放電加工進行加工，倒角設定為 0°、5°、30°、60° 四種，經比較四者之特性後取得最佳角度參數後再進行其他項目的探討，倒角設計詳見圖 3.2.1。

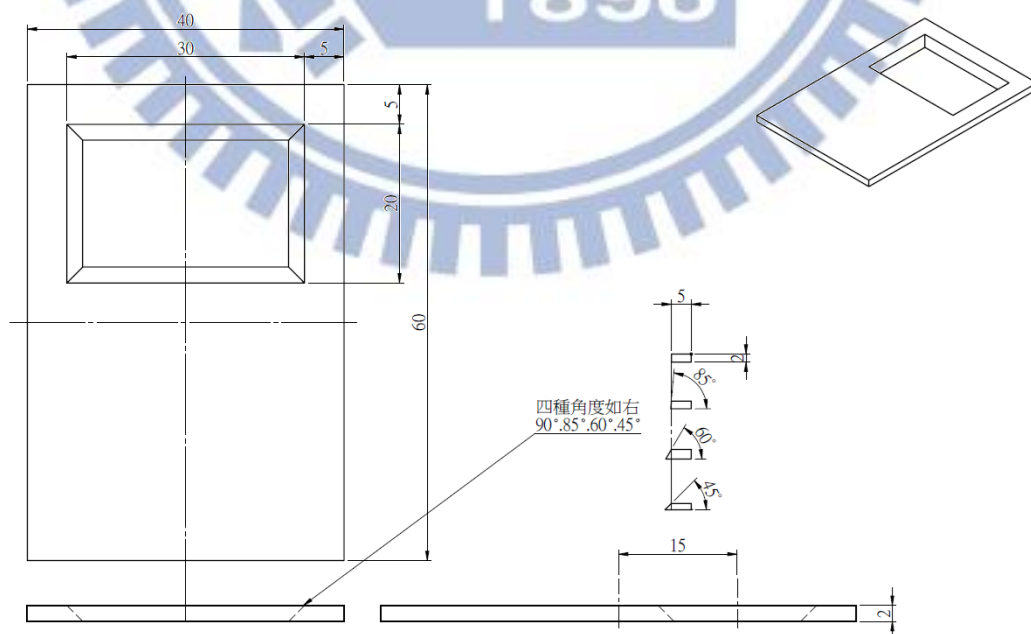


圖 3.2.1 鋁合金基板倒角示意圖

3.2.2 ABS 塑膠蓋板

本實驗選用 ABS 做為嵌入蓋板，其尺寸對應於鋁合金基板之槽孔，因主要加工方式是以超音波剪接熔接，原則上 ABS 試片只要略大於鋁合金槽孔便可。

3.2.3 超音波焊接

本實驗選用京華超音波公司提供之 Ksonic - KWB1420 塑膠超音波焊接機型，見圖 3.2.2，超音波焊頭與下模具則如圖 3.2.3、3.2.4。

超音波參數部分

固定參數：

1. 頻率 20 KHz，受機型本體限制。
2. 震幅 0.025mm，受機型本體與超音波焊頭限制。

變動參數：

1. 下壓力 (Regulator)
2. 熔接時間 (Weld)
3. 固化時間 (Hold)
4. 延遲時間 (Delay)

變動參數對應本實驗之適用範圍可見表 3.2.1。



圖 3.2.2 塑膠超音波焊接機 Ksonic-KWB1420

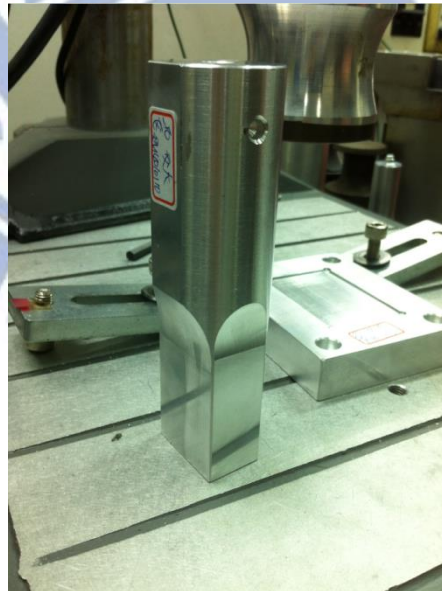


圖 3.2.3 超音波焊頭



圖 3.2.4 下模具

表 3.2.1 變動參數適用範圍

中文名稱	下壓力	熔接時間	固化時間	延遲時間
英文名稱	Regulator	Weld	Hold	Delay
單位	Kg/cm ²	Sec.	Sec.	Sec.
選定參數	<u>3.4</u>	<u>0.3</u>	<u>0.5</u>	<u>0.9</u>
適用範圍	2.5 < R < 3.5	0.2 < W < 0.4	0.2 < H < 9.9	Fix
可調極值	0 < R < 10	0 < W < 9.99	0 < H < 9.9	0 < D < 9.9

資料來源：本研究整理

變動參數部分

下壓力代表氣壓缸提供之正向擠壓力；下壓力適用範圍為 2.5—3.5 Kg/cm²，若小於該值將無法擠入，大於該值則易使 ABS 試片燒焦，最終選定使用 3.4 Kg/cm²。

熔接時間代表超音波震盪作用時間；熔接時間適用範圍為 0.2—0.4 秒，若小於該值將無法熔切，大於該值則易使 ABS 試片中央部分燒焦，最終選定使用 0.3 秒。

固化時間代表震盪後焊頭繼續固定的時間；固化時間適用範圍為

0.2—9.9 秒，小於該值時，試片尚未冷卻容易產生變形，大於該值則等待時間過久，將加工時間拉長，最終選定使用 0.5 秒。

延遲時間代表焊頭下移後超音波震動啟動的延遲時間。為了要求熔接時間一致，其適用範圍為固定值，設定為焊頭接觸試片後同時啟動，最終選定使用 0.9 秒。

3.3 試片觀察與檢驗

3.3.1 倒角比較

倒角部分原先設定為 0° 、 5° 、 30° 、 45° 四種，其中 0° 、 5° 能以線切割加工， 30° 、 45° 則僅能以放電加工。因放電加工較不適合大量製造，最終選擇測驗 0° 、 5° 、 45° 三種角度。

經第一次超音波加工後， 45° 試片共六片全數失敗無法接合，故排除該參數，僅比較 $90^\circ(0^\circ)$ 與 $85^\circ(5^\circ)$ 。

3.3.2 接合強度拉伸試驗 I

本實驗以 SHIMADZU 桌面型電子萬能試驗機檢驗接合強度，拉伸速率設定為 10 mm/min。上夾具在 ABS 中央鑽一圓孔供螺絲通過，再以螺絲鎖住一塊推頭，產生向上拉力，拉伸夾具示意圖可見圖 3.3.1。上夾具以略小於 ABS 長、寬，厚 4mm 之鋁塊作推頭，上夾具可見圖 3.3.2。下夾具以 3D Printer 製作，以中空插卡槽設計，下夾具示意圖

可見圖 3.3.3。實際拉伸狀況則可見圖 3.3.4（拉伸前）與圖 3.3.5（拉伸後）。

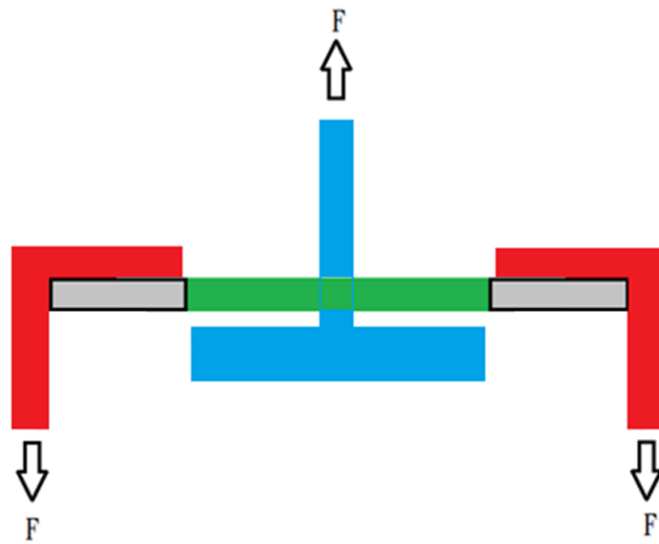


圖 3.3.1 拉伸試驗示意圖

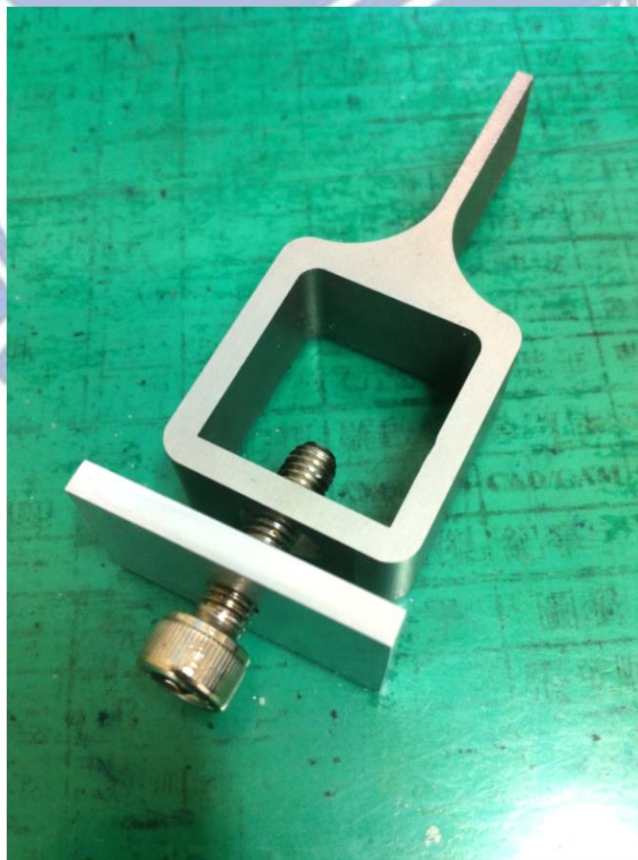


圖 3.3.2 上夾具

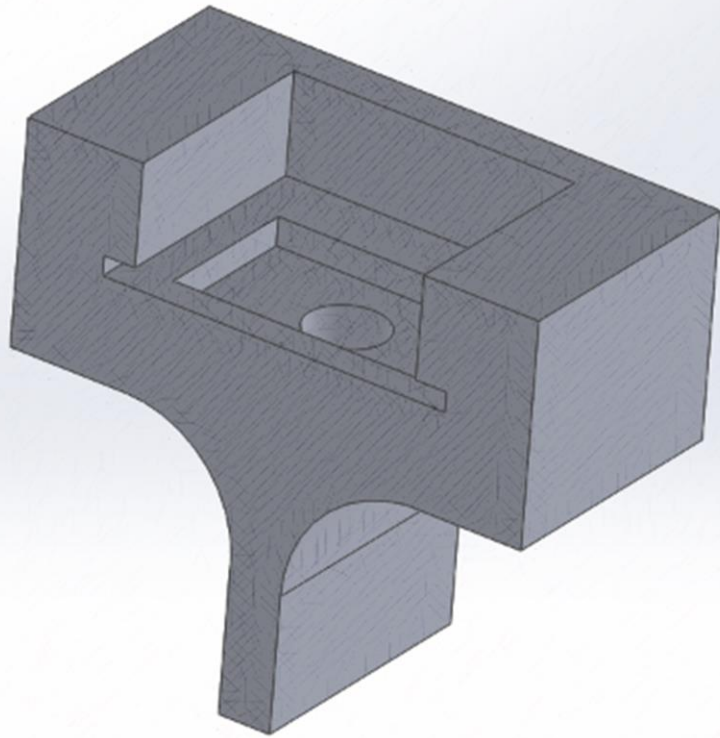


圖 3.3.3 下夾具

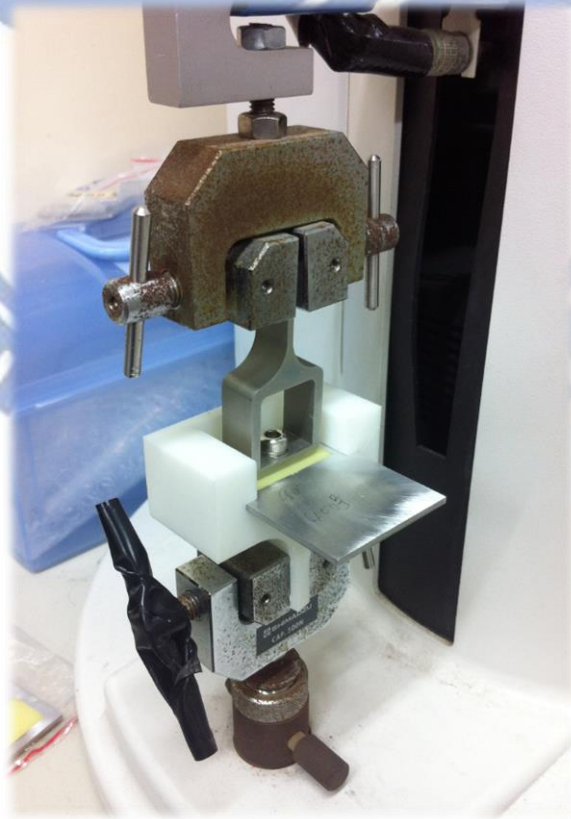


圖 3.3.4 拉伸前

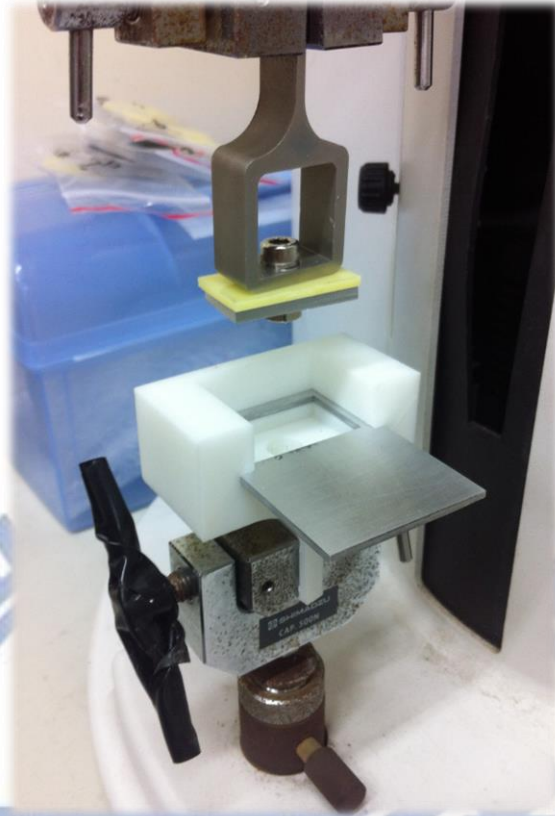


圖 3.3.5 拉伸後

在 85° 部分，由於 ABS 擠入鋁試片可以有兩種方向，正向擠入（見圖 3.3.6）與反向擠入（見圖 3.3.7），經第一次拉伸實驗後，可知正向擠入大於反向擠入約兩倍（見表 3.3.1），故最終選擇使用正擠作為正式實驗參數。

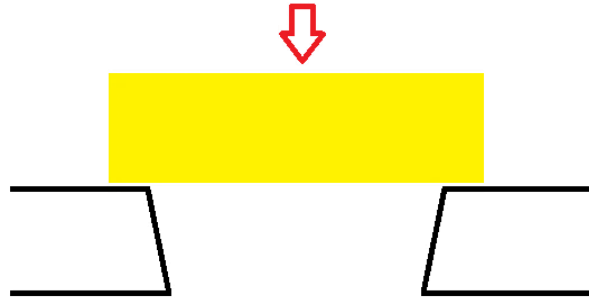


圖 3.3.6 85°正向擠入



圖 3.3.7 85°反向擠入

表 3.3.1 85°正擠與反擠接合強度

正擠		反擠	
Max-Load (N)	Max-Stress (N/m ²)	Max-Load (N)	Max-Stress (N/m ²)
314.975	1.5749	128.250	0.6413
217.774	1.0889	109.825	0.5491
285.600	1.4280	164.325	0.8216
272.783 - Avg.	1.3639 - Avg.	134.133 - Avg.	0.6707 - Avg.

資料來源：本研究實驗

3.3.3 接縫觀察

超音波加工完成的試片，因表面會殘留許多溢料，見圖 3.3.8，需先經過一道研磨後處理的過程，其處理方式，首先以美工刀去除外觀明顯的溢料，再以研磨機磨平，研磨過程使用 3M 水砂紙 240 號至 400 號，以 500 rpm 持續研磨 30 秒以上，最後目測以及使用手觸接縫平整，研磨後處理完成的試片可見圖 3.3.9。

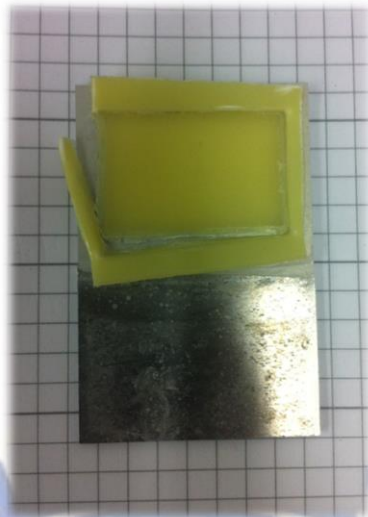


圖 3.3.8 加工完表面殘留溢料

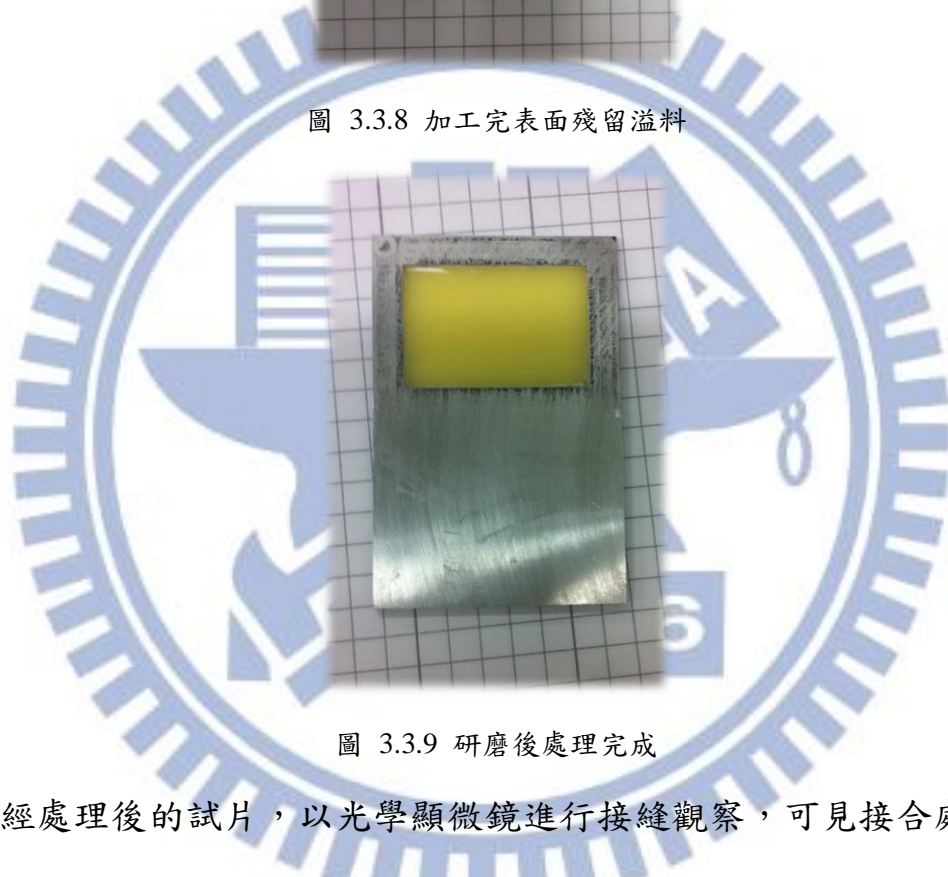


圖 3.3.9 研磨後處理完成

經處理後的試片，以光學顯微鏡進行接縫觀察，可見接合處有極細微的接縫存在，其大小約落在 0 至 10 μm 左右可見圖 3.3.10，如紅線所示，且縫隙沒有貫通，在 85° 接合方面則可見圖 3.3.11，因有斜面存在所以接縫更不明顯。

試片經接縫觀察，可見其接縫小於 10 μm ，而一般灰塵定義為大於 10 μm 之顆粒，若小於則稱之粉塵，故本試片可達 IP5X 等級。

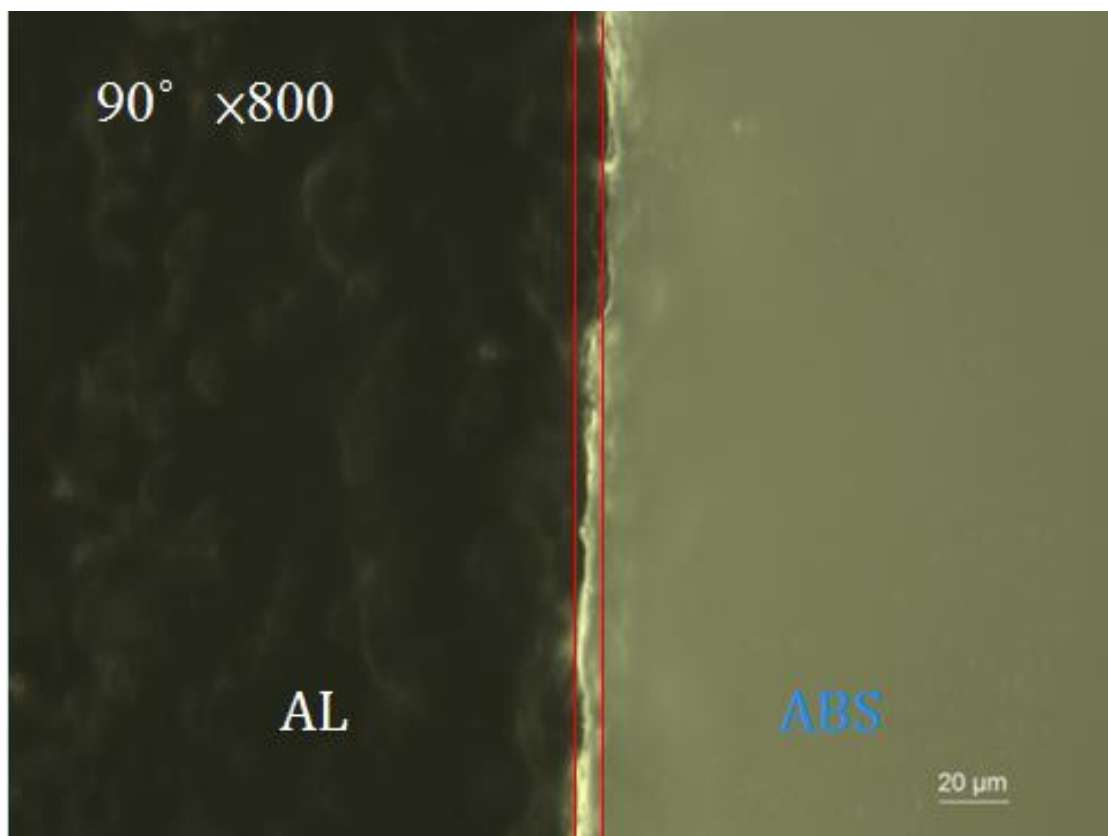


圖 3.3.10 90°接縫觀察 ×800

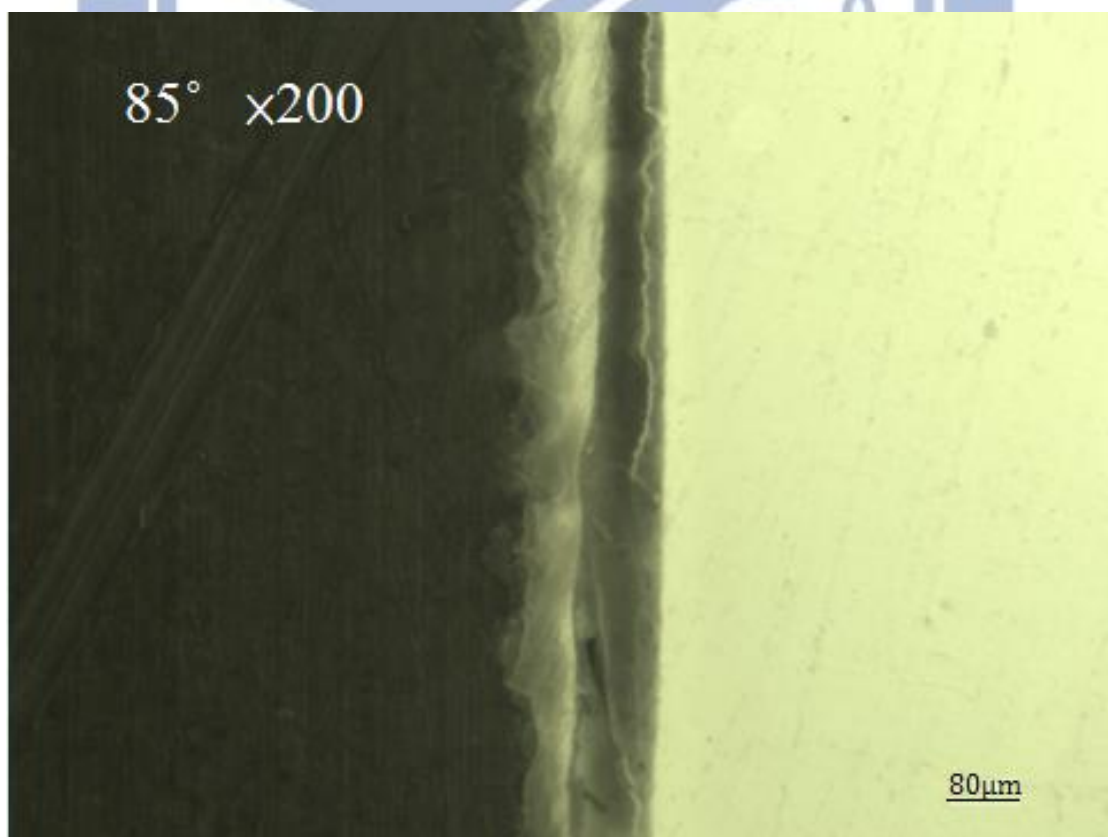


圖 3.3.11 85°接縫觀察 ×200

3.3.4 水密性檢驗

水密實驗部分，參考由 IEC 國際電工協會所公布的防水防塵等級 IP 等級 (Ingress Protection Rating)，進行檢驗，詳細資訊可見本文 2.6 章防水防塵等級。

試片以具有一定深度之水柱 h 在接縫處加壓，示意圖可見圖 3.3.12，實際照片可見圖 3.3.13。其上方接一條長管，長管與試片之間則以矽利康進行密封，使水壓力可作用於接縫處，其結果可見表 3.3.2。

表 3.3.2 水密實性檢驗

深度 h (cm)	時間 (分鐘)	結果
50	30	無滲漏
100	30	無滲漏
100	36	有限滲入 0.1mm 之水珠
120	1	滲入 0.2mm 之水珠
130	N/A	矽利康密封處損壞

資料來源：本研究實驗

實驗結果可見試片可置於深度 100cm 的水深中，持續時間 30 分鐘允許有限滲入，可達 IPX7 水準。

就整體而言，綜合 3.3.3 之接縫檢驗，對應表 2.7.1 之 IP 等級代碼對照，本試片整體可達 IP57 之水準。防塵等級可允許對試片無負面效果的灰塵有限進入，防水等級則可允許浸入深度由設備頂部最多 100cm，底部最少 15cm 並持續 30 分鐘。

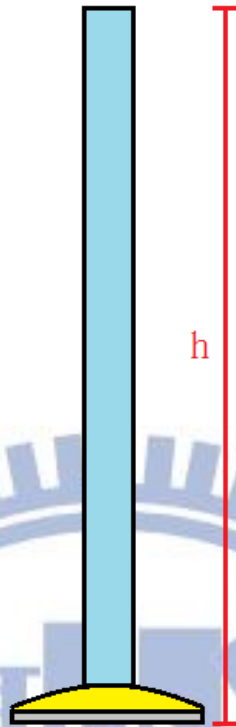


圖 3.3.12 水密實驗示意圖



圖 3.3.13 水密實驗實際照片

3.3.5 表面粗度量測

為了探討異質材料接合強度與表面粗糙度的關係，進行表面粗度的量測，本實驗使用 Mitutoyo SJ-210 表面粗度計，該設備屬於探針刮移式表面粗度儀。本次量測面為異質材料接觸面，隨機選擇 5 點並取平均值，誤差在正負 10% 以內，其表面粗度可見表 3.3.3。

表 3.3.3 試片表面粗度

Avg.: 5 次 誤差: ±10%	400 號	240 號	原材料 (線切割)	AAO 50	AAO 100~60	AAO50+ 240 號
單位: μm	9.804	13.363	19.539	19.979	20.768	14.318

資料來源：本研究實驗

3.4 表面處理與拉伸試驗

本實驗欲以表面處理之方式增加異質材料接合強度，主要探討經砂紙研磨以及電化學陽極氧化處理兩種方式，另外同時也對原材料經線切割的表面進行實驗，共 6 種表面處理方式。搭配 2 種倒角，可得 12 種不同的參數進行比較，參數組合可見表 3.4.1。

表 3.4.1 表面處理參數組合

90°	85°
1. 原材料	
2. 砂紙 240 號	
3. 砂紙 400 號	
4. AAO 50V	
5. AAO 100~60V	
6. 240 號 + 50V	

資料來源：本研究整理

3.4.1 陽極處理

陽極處理使用之電解液為磷酸，濃度 5% 體積百分濃度，反應恆溫控制在 15°C，持續時間 30 分鐘，控制電壓有兩種參數

一、 50V

二、 100 ~ 60V。

其中二、100 ~ 60V 屬特殊情況，因電解液限制，100V 的電壓會使的電流飆升，陽極處理表面會被破壞無法堆積，加工方式以先持續 100V 至設備極限電流 1.5A 後，待設備安全系統啟動自動降壓至 75V 1.5A 時，再調降電壓至 60V 共持續 30 分鐘。

該參數底下的陽極絕緣層破壞，2007 年，由黃柏諭「以奈米壓印改善陽極氧化鋁週期性」[15] 一文中指出，過高的電壓會導致電解崩潰，將使得鋁片被吃穿，本實驗參數之電解崩潰電壓約在 75V 左右，緩步調升電壓最終可得 75V 0.02A；調高電壓使設備自動降壓則也是 75V 1.5A。

因陽極處理產生之試片的孔洞屬於奈米等級，大小介於 30 至 300 奈米左右，故將以 SEM 掃描式電子顯微鏡來觀察試片。

3.4.2 研磨參數

表面粗糙方式可分為兩種。

一、 原材料未處理

二、 砂紙研磨

原材料未處理，是鋁合金試片經線切割加工後，切割面產生電化學反應溶解，故原材表面相當粗糙，且有許多孔洞存在。

研磨使用 3M 水砂紙，參數選擇為 240 號與 400 號，研磨方式則是在內框待研磨處塗上一層色層，以平行開口平面的方向，將色層研磨至金屬原色為止。

3.4.3 交叉組合試片

本實驗將針對這 12 項目進行加工，並以拉伸試驗測量其接合效果，所有的試片在進行超音波焊接加工前，皆以 95% 之丙酮加上超音波洗淨機進行清潔，確保表面乾淨無污染。

交叉組合試片可見表 3.4.1，共有 12 項目。

1. 90° 原材料表面
2. 85° 原材料表面
3. 90° 砂紙 240 號
4. 85° 砂紙 240 號
5. 90° 砂紙 400 號
6. 85° 砂紙 400 號

7. 90° 原材料表面+陽極處理電壓 50V
8. 85° 原材料表面+陽極處理電壓 50V
9. 90° 原材料表面+陽極處理電壓 100~60V
10. 85° 原材料表面+陽極處理電壓 100~60V
11. 90° 砂紙 240 號+陽極處理電壓 50V
12. 85° 砂紙 240 號+陽極處理電壓 50V

3.4.4 接合強度拉伸試驗 II

也有別於接合強度拉伸試驗 I，本次拉伸試驗是為了比較各種表面型態與接合強度之間的關係，其所使用之夾具、拉伸參數皆與拉伸試驗 I 相同，在此不再贅述。

第四章 結果與討論

4.1 拉伸試驗接合強度

拉伸試驗結果，最佳接合強度為 90° 原材料表面+陽極處理電壓 100~60V，其拉伸應力達 1.8 MPa，12 項目之接合強度可見圖 4.3.1。

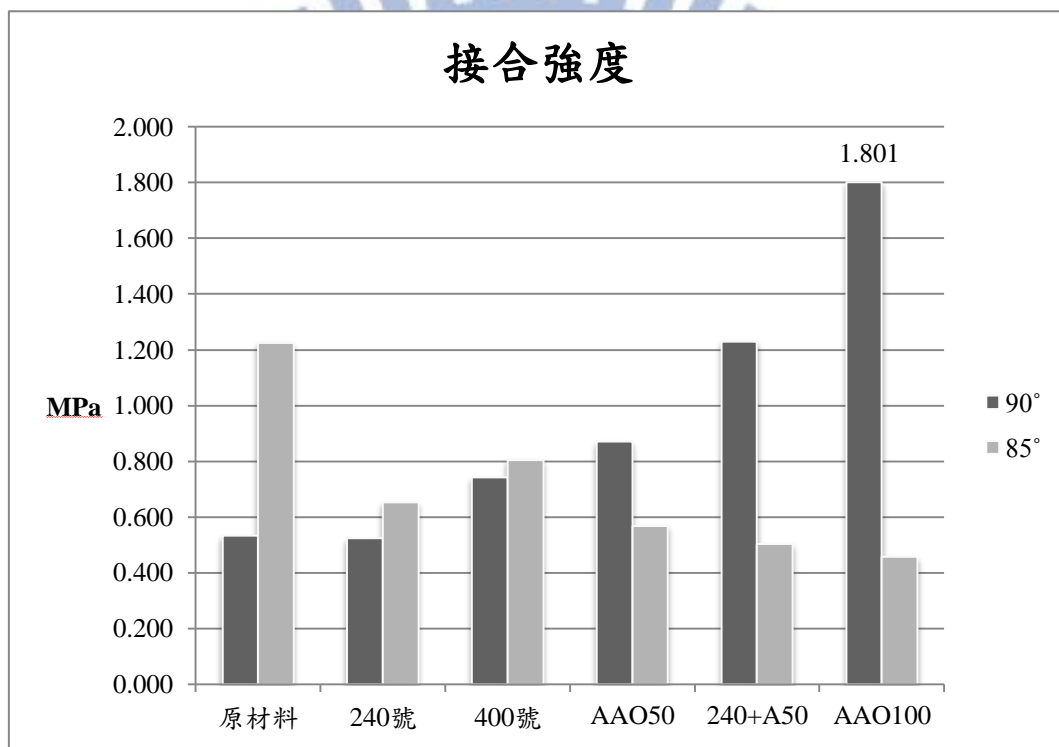


圖 4.1.1 接合強度對照表

以下分別將 90° 與 85° 拉伸結果獨立並搭配表面粗糙度討論。

4.2 90° 接合強度與表面粗糙度

就 90° 而言，見圖 4.2.1，其陽極處理接合強度明顯較無陽極者強，而陽極處理之電壓越高接合強度越強。

就表面粗糙度與接合強度來說，經過陽極處理之表面粗糙度僅些

微提升，接合強度卻大幅上升，顯示接合強度與表面粗糙度無關，陽極處理才是提升主因。

在未經陽極處理，單純以砂紙研磨處而言，400 號的接合強度較 240 號來的好。而原材料因經電化學處理，表面有許多較大微米級的孔洞，也與表面粗糙度無關。

最後，比較 AAO50 與 240+AAO50 研磨平整的表面其陽極孔洞較明顯，使固錨效果更佳，但電壓影響更鉅，AAO 電壓 100 的表面其接合強度最高。

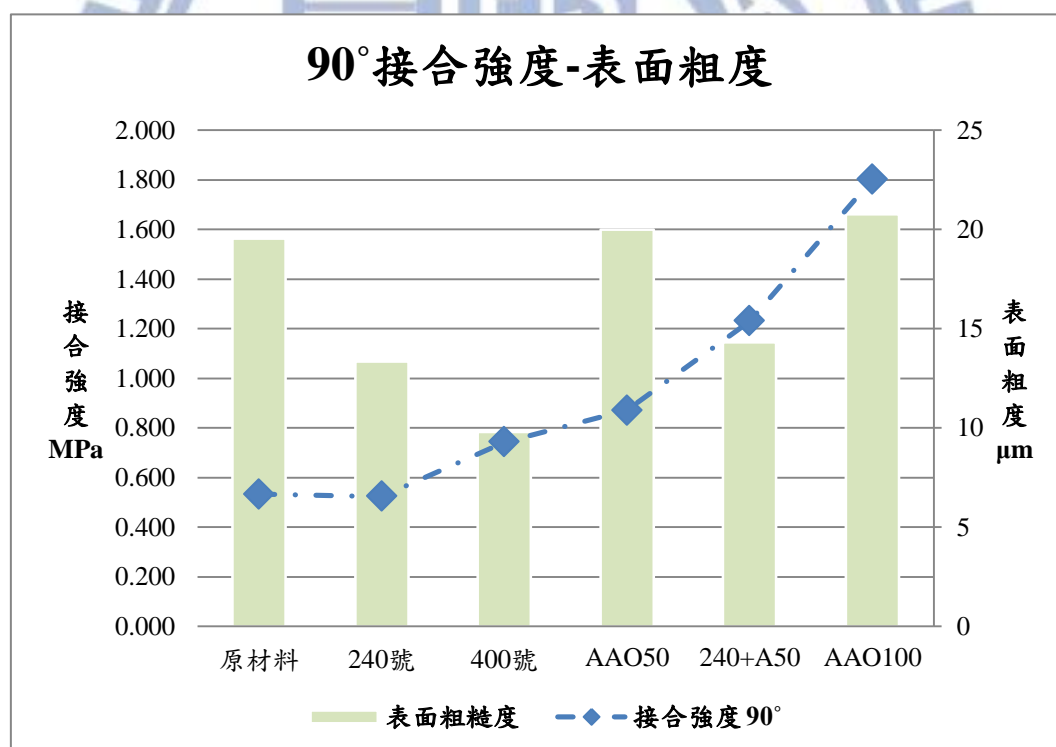


圖 4.2.1 90°接合強度-表面粗度

4.3 90°接合強度與陽極表面

比較未經超音波焊接加工，圖 4.3.1（陽極電壓 $V=50$ ）與圖 4.3.2（陽極電壓 $V=100$ ）之表面，在 10000 倍下，可以發現若陽極處理的電壓越高，其孔洞生成將會越多且越緻密，在放大至 50000 倍後，見圖 4.3.3 與圖 4.3.4。更可以發現陽極電壓 $V=100$ 的孔洞成形狀況明顯較電壓 $V=50$ 好，故陽極處理後表面孔洞的大小與密集度，是影響接合強度的主要原因。



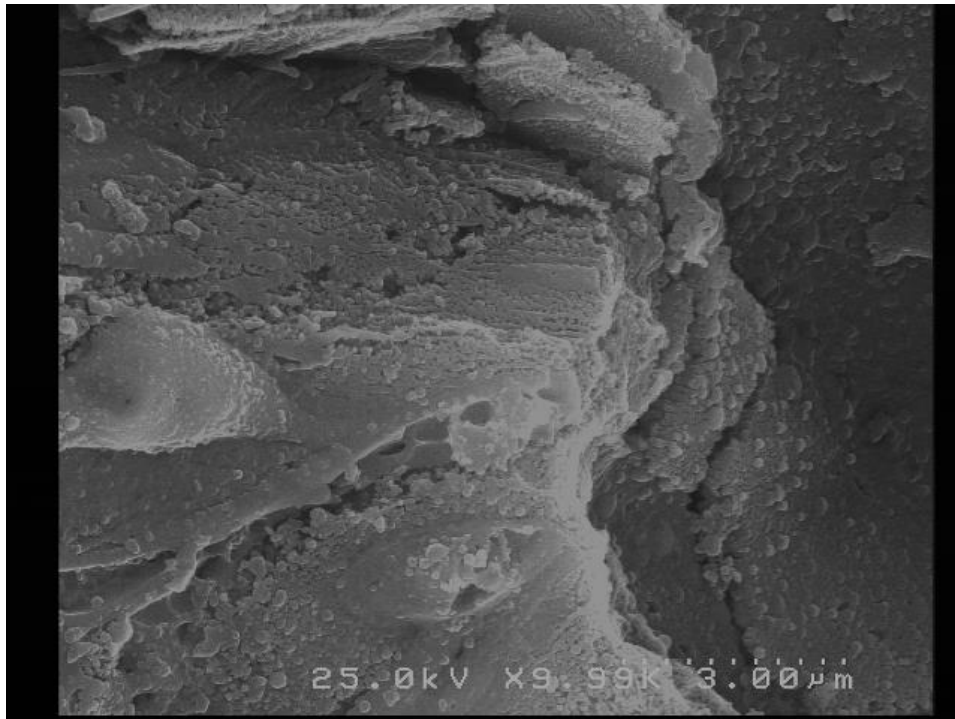


圖 4.3.1 陽極電壓 50V x10000 之表面



圖 4.3.2 陽極電壓 100V x10000 之表面

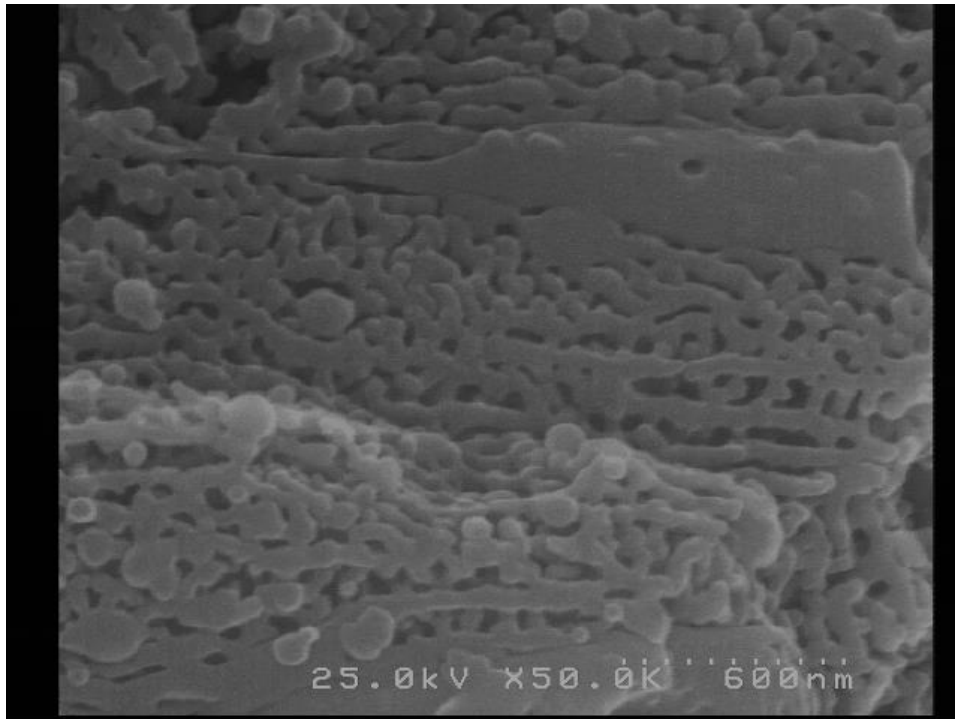


圖 4.3.3 陽極電壓 50V x50000 之表面

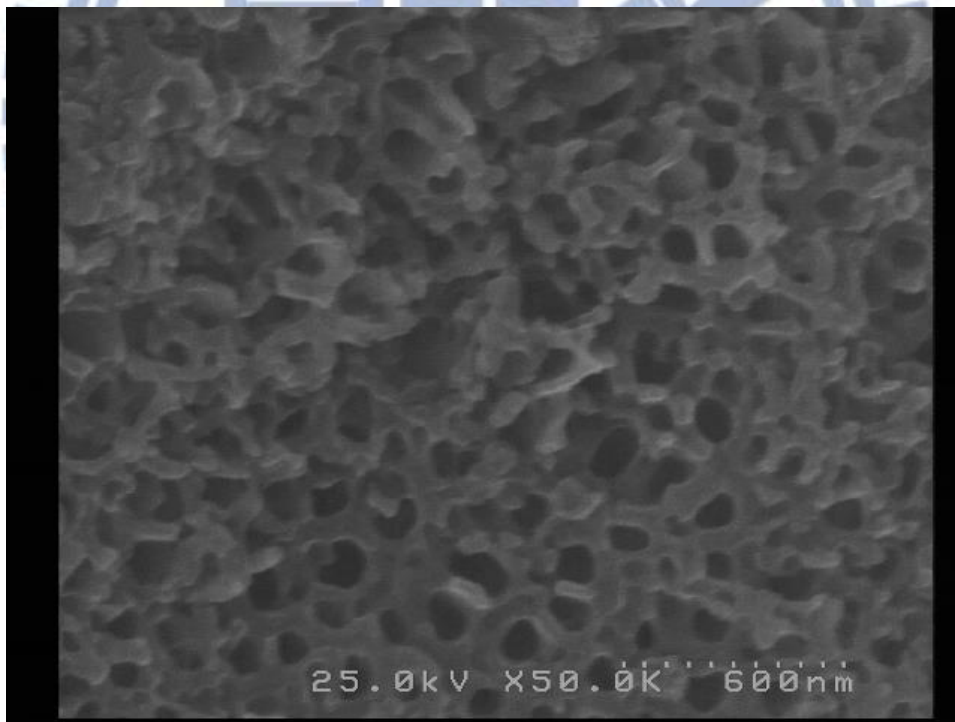


圖 4.3.4 陽極電壓 100V x50000 之表面

4.4 研磨表面與陽極加工後孔洞之關係

比較未經超音波焊接加工，圖 4.4.1（粗糙原材料）與 4.4.2（經 240 號砂紙研磨）的陽極表面，可知陽極處理前試片光滑度與孔洞之間的關係，越平整的表面較易使陽極孔洞生成更緻密也更完整。由 50000 倍下觀察，可見圖 4.4.3 與 4.4.4，粗糙的原材料的孔洞呈現如受球狀物體擠壓下的空間，僅存在大小約 10 nm 的縫隙，而經 240 號砂紙研磨的表面則有大小介於 30 至 300nm 的完整圓形孔洞。



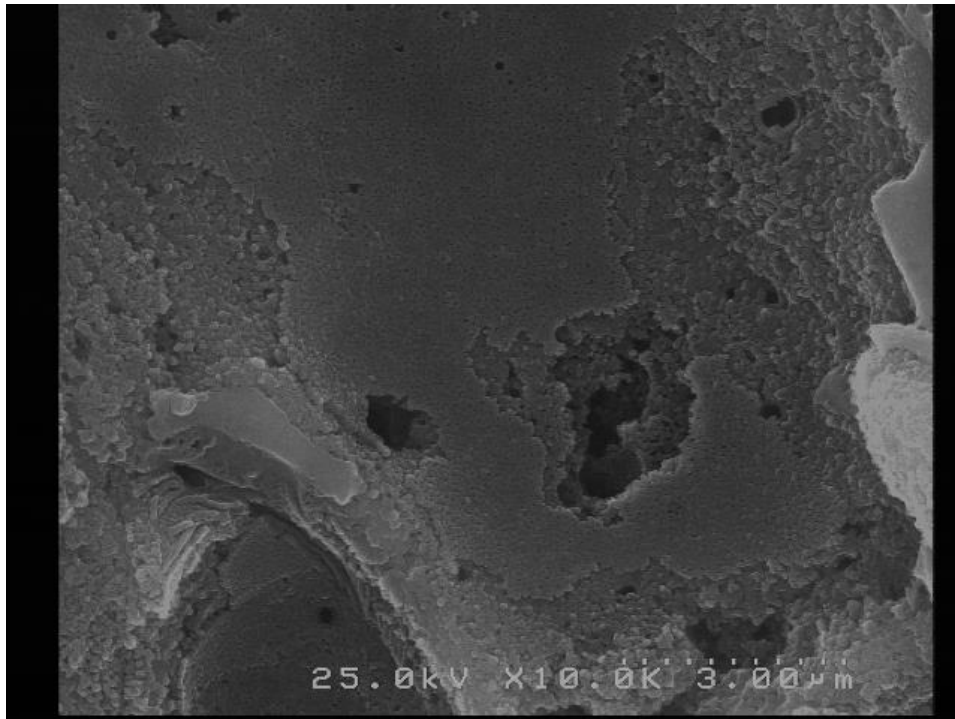


圖 4.4.1 陽極電壓 50V ×10000 粗糙原材料之表面

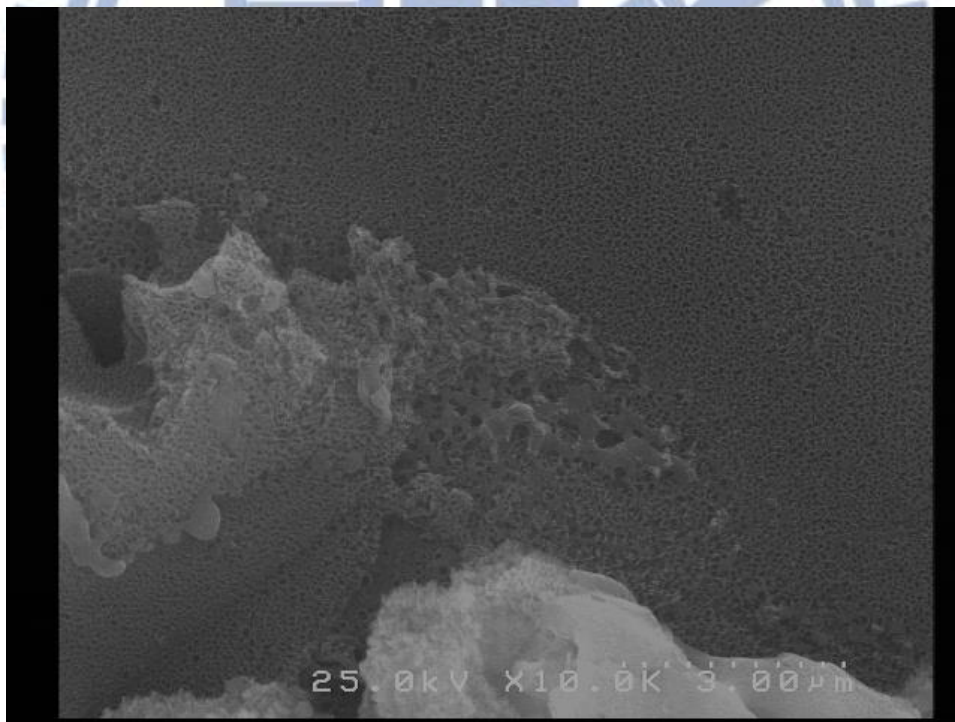


圖 4.4.2 陽極電壓 50V ×10000 經 240 號砂紙研磨之表面

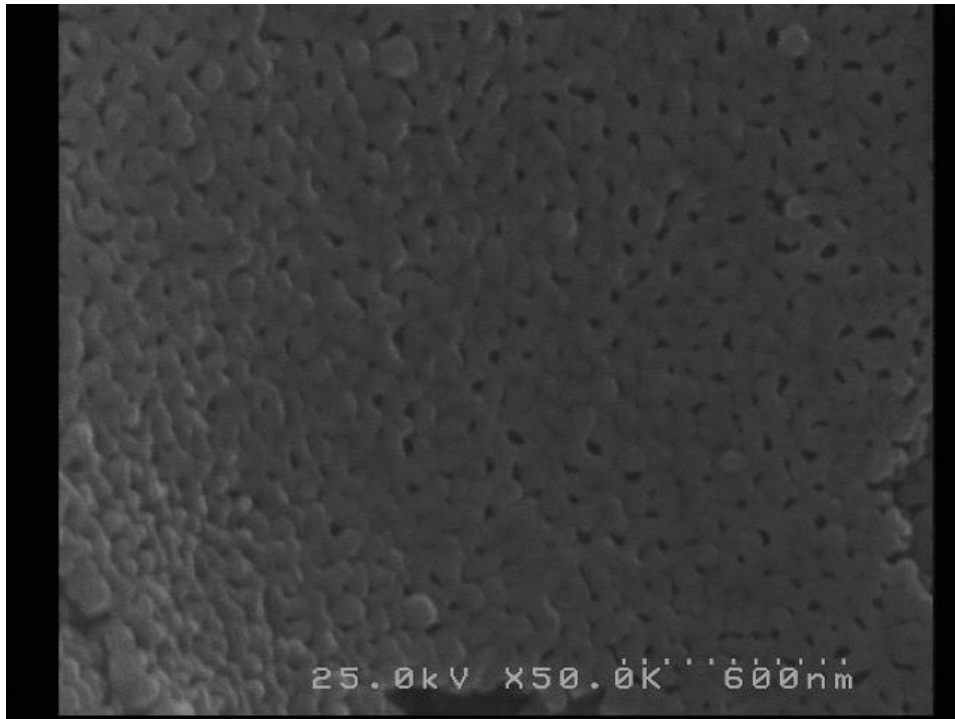


圖 4.4.3 陽極電壓 50V x50000 粗糙原材料之表面

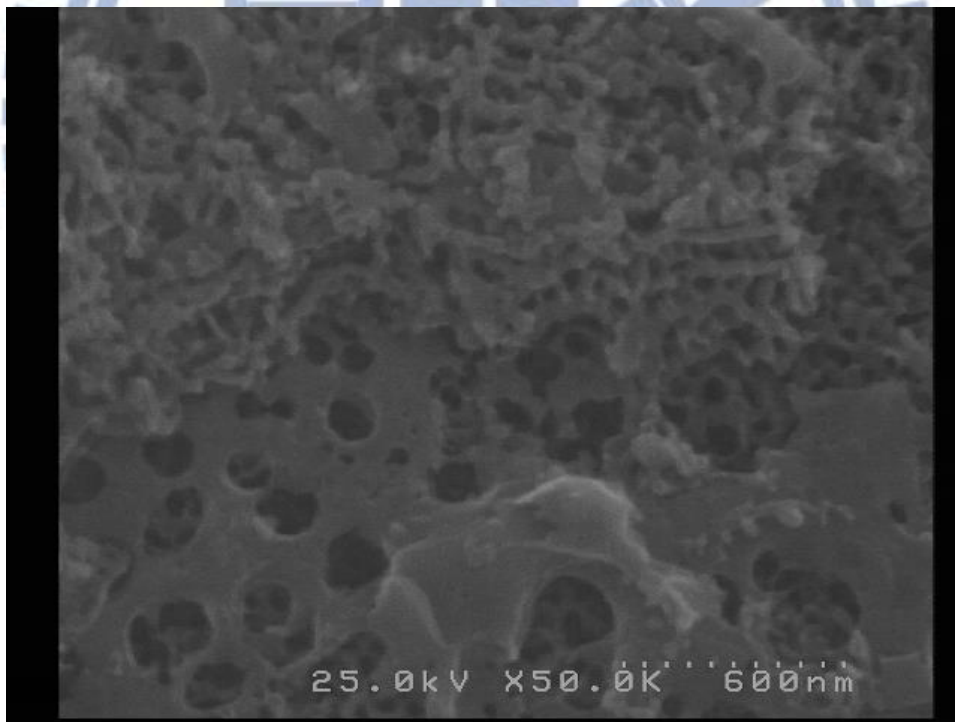


圖 4.4.4 陽極電壓 50V x50000 經 240 號砂紙研磨之表面

4.5 85°接合強度與陽極表面

就 85°而言，見圖 4.5.1，其陽極處理接合強度明顯較無陽極處理者弱，恰與 90°相反。且陽極處理的電壓越高，接合強度越差。

就表面粗糙度與接合強度來說，經過陽極處理之表面粗糙度僅些微提升，但對接合強度的影響似乎不明顯。顯示陽極處理是影響接合強度的主要原因。

與 90°相同的則是，未經陽極處理，單純以砂紙 400 號研磨的接合強度較 240 號好。而原材料因經電化學處理，表面有微米級的孔洞，也與表面粗糙度無關。

最後，經陽極處理後的試片失敗率相當高，直接脫落的比例甚至高達 67%，可由圖 4.5.2 見 90°試片之成功率相當高，而圖 4.5.3 則可見 85°失敗率極高，且失敗集中於陽極處理的部分。

兩者圖中之符號○屬於計入點位，×、△為失敗點位。

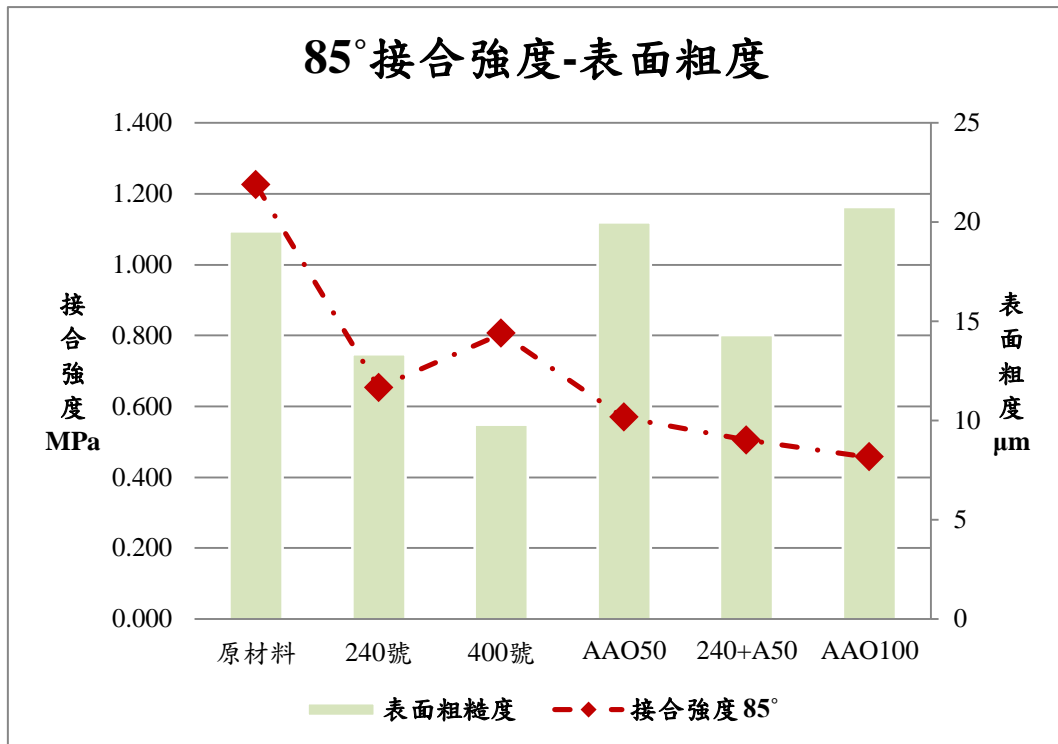


圖 4.5.1 85° 接合強度-表面粗度



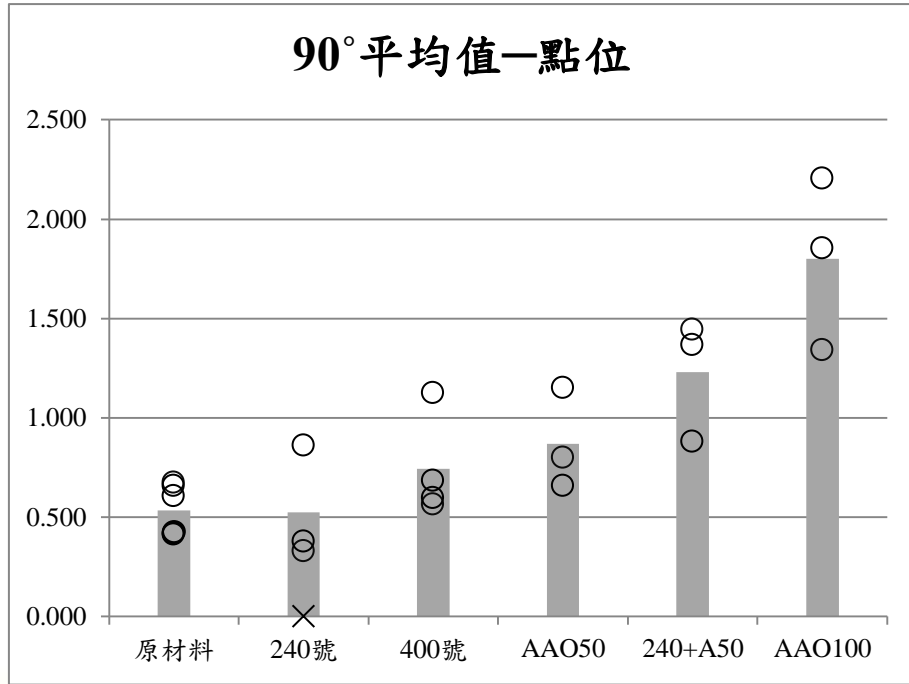


圖 4.5.2 90°數據點位

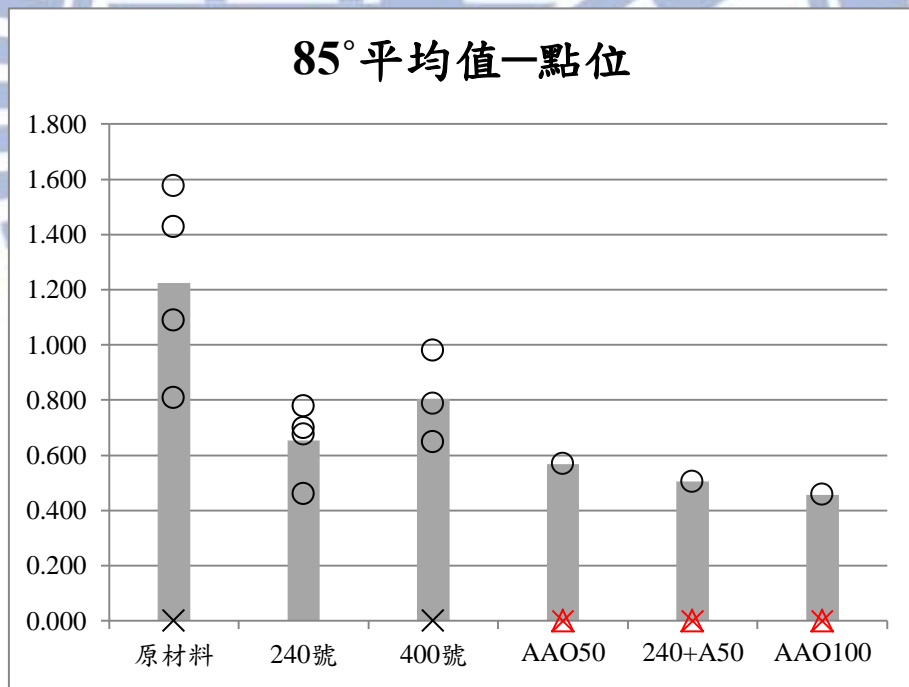


圖 4.5.3 85°數據點位

4.6 85°試片觀察

為了探討 85°經陽極處理後失敗率高的問題，本實驗發現當 85°試片經拉伸試驗後，ABS 與陽極處理鋁合金之接觸表面殘留著一層白色粉末，可見圖 4.6.1，為了瞭解這個現象，將使用 SEM 進行表面觀察。

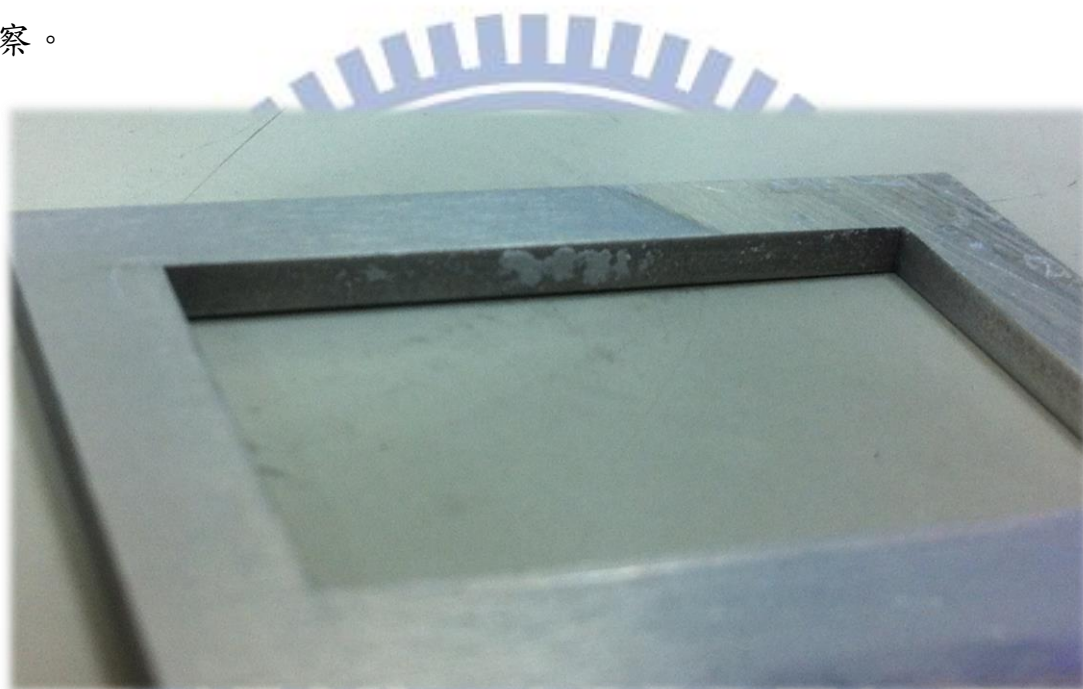


圖 4.6.1 拉伸試驗後接合處表面殘留白色粉末

這一現象的觀察重點，正好點出了 85°試片失敗率較高的原因。85°試片以超音波焊接加工的過程可能會破壞陽極處理的表面，進而產生脫落的氧化鋁粉末。

為了瞭解失敗的原因，我們可由 SEM 底下的照片發現，90°與 85°兩種試片在加工後表面有極大的不同之處，見圖 4.6.2 與 4.6.3，比較 90°與 85°經超音波加工後（以 95%之丙酮加上超音波洗淨機去除殘留 ABS）的陽極表面情況，可明顯觀察到 90°試片僅局部（佔表面 30 至

40%左右)有壓痕,而85°試片卻幾乎是整個平面都被壓扁,這個現象在放大至50000倍後更加明顯,見圖4.6.4與4.6.5。

而同樣破壞的情況,也會因為孔洞成形的狀況越好而越嚴重,由圖4.6.6與4.6.7,比較85°陽極電壓 $V=50$ 與 $V=100$ 經超音波加工後的表面型態,可見電壓 $V=100$ 幾乎是整個表面皆被壓成平整面,僅剩一些凹槽部分殘存破碎的支架,而電壓 $V=50$ 的孔洞雖破壞嚴重,但大致上還可以看出是原是孔洞被壓平後的殘骸,50000倍之圖可見圖4.6.8與4.6.9。

最後,即使是經砂紙研磨後再進行陽極處理,孔洞效果更好的表面,仍也會有相同被壓扁的情況產生,可由圖4.6.10與4.6.11觀察到。

陽極表面被破壞的狀況,不斷的重複地出現在經超音波焊接加工後的各種85°試片上,顯著證明只要是85°試片的陽極處理表面,受經超音波焊接的加工便會遭受破壞。

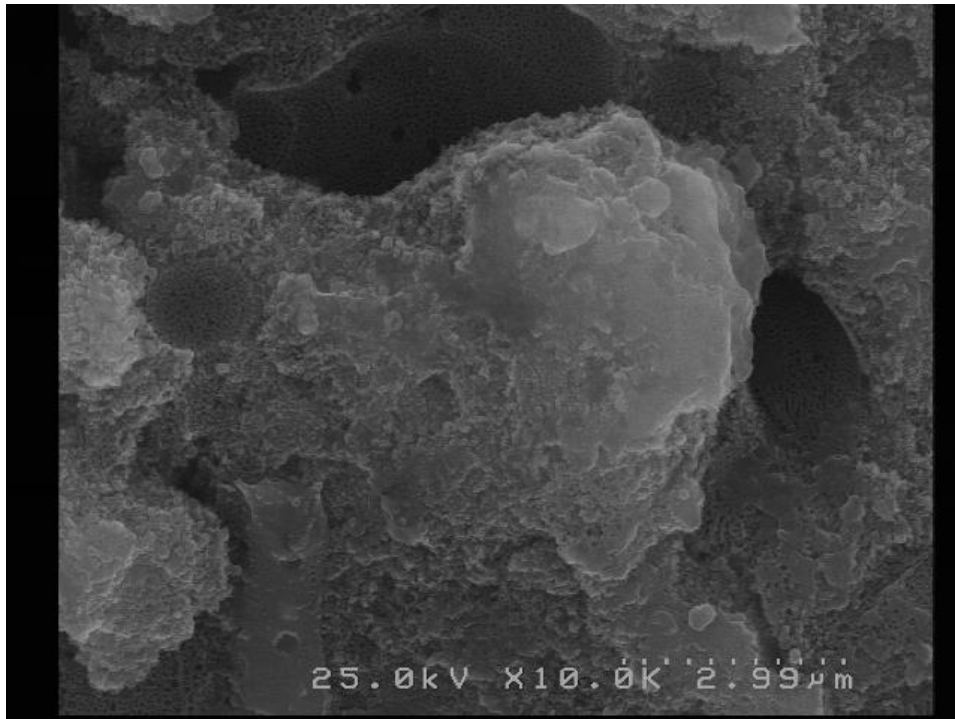


圖 4.6.2 90°陽極處理表面經超音波加工後 ×10000

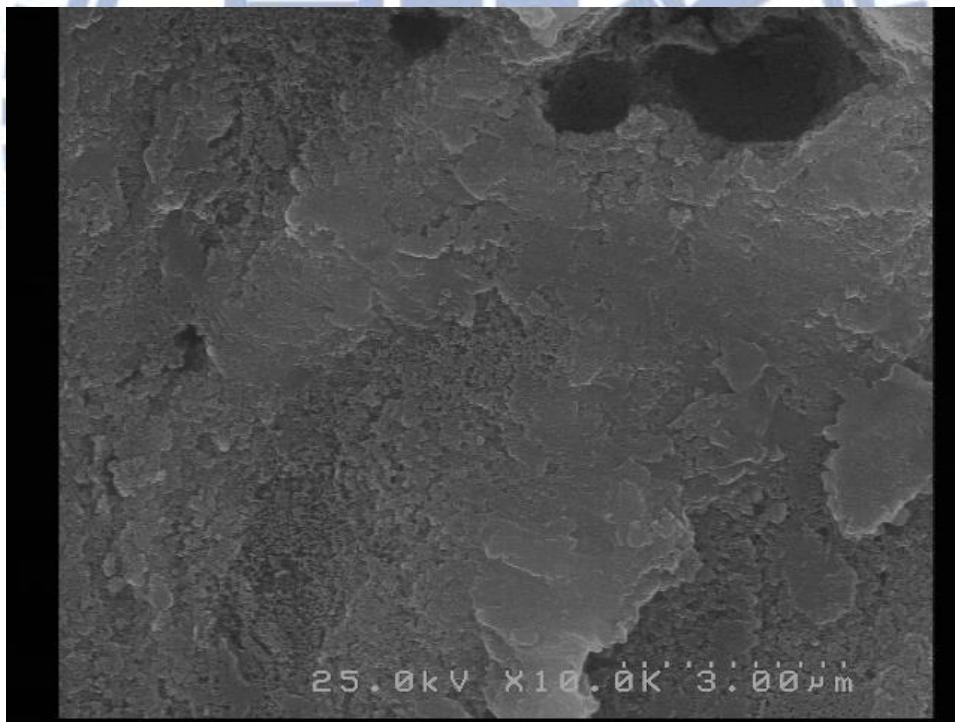


圖 4.6.3 85°陽極處理表面經超音波加工後 ×10000

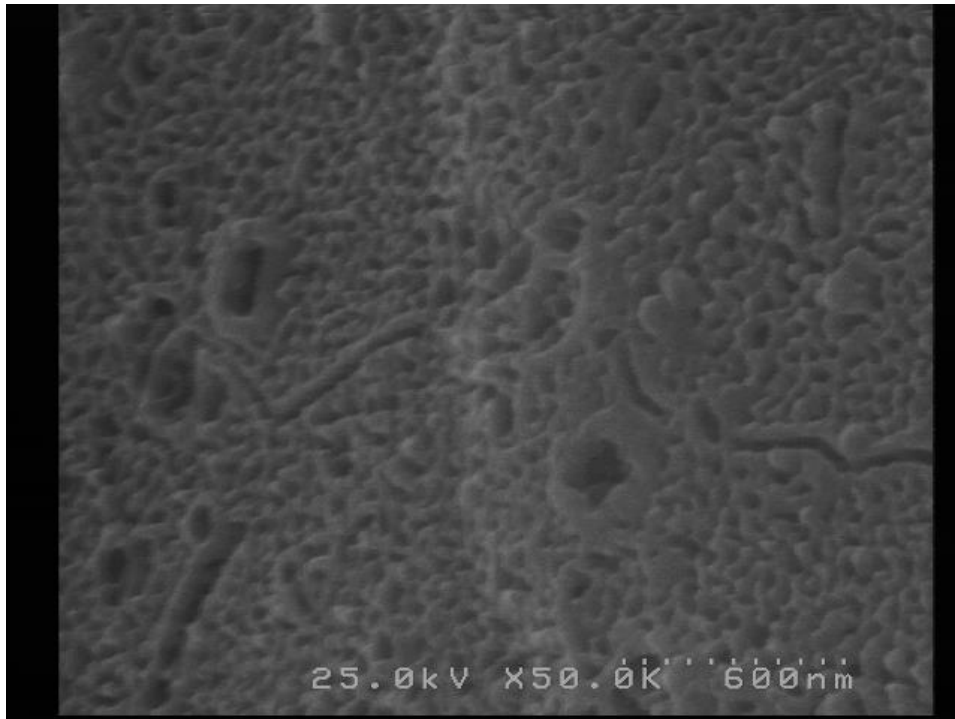


圖 4.6.4 90°陽極處理表面經超音波加工後 x50000

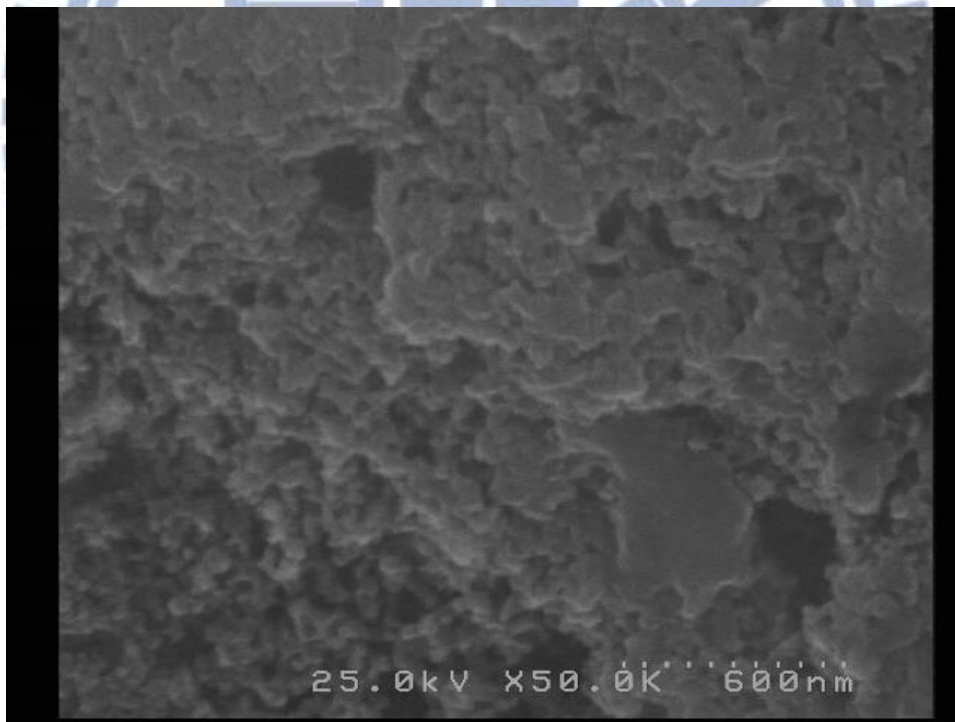


圖 4.6.5 85°陽極處理表面經超音波加工後 x50000

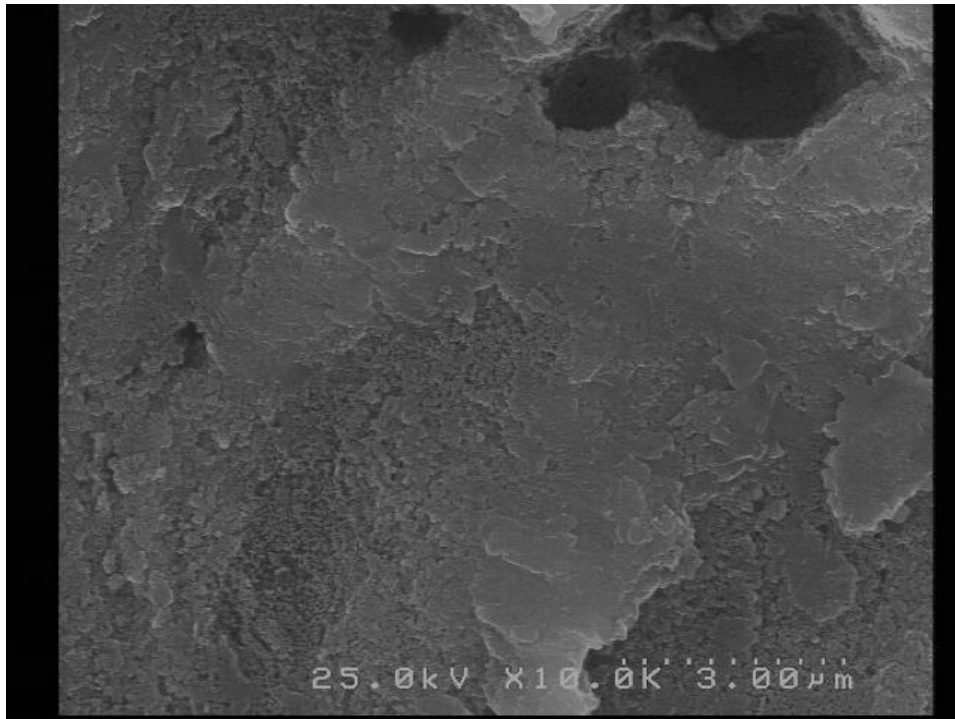


圖 4.6.6 85°電壓 50V 經超音波加工後 x10000

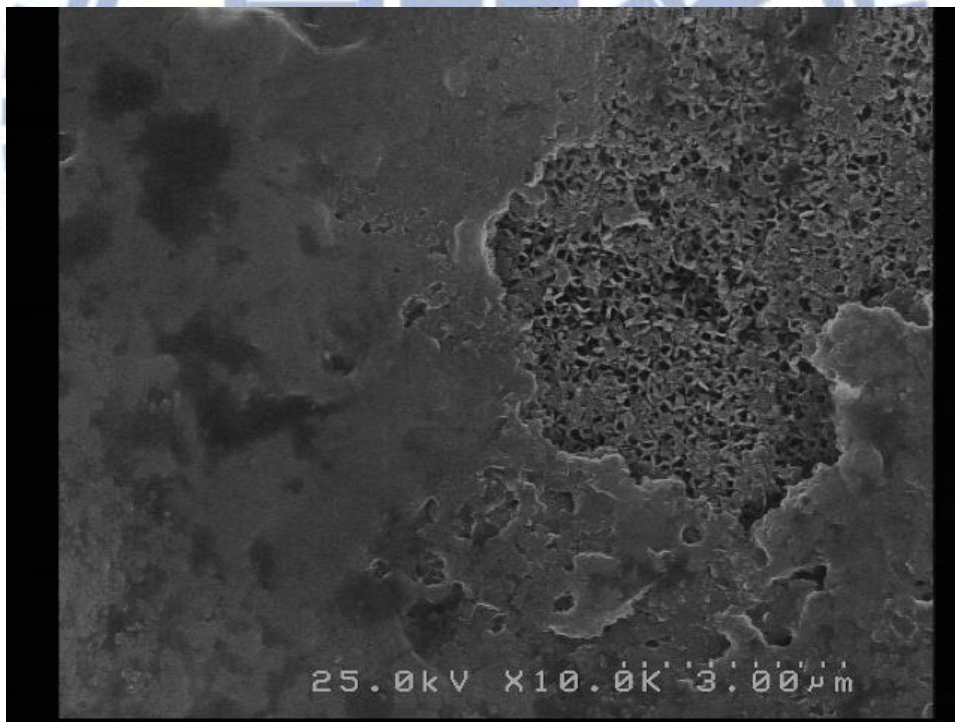


圖 4.6.7 85°電壓 100V 經超音波加工後 x10000

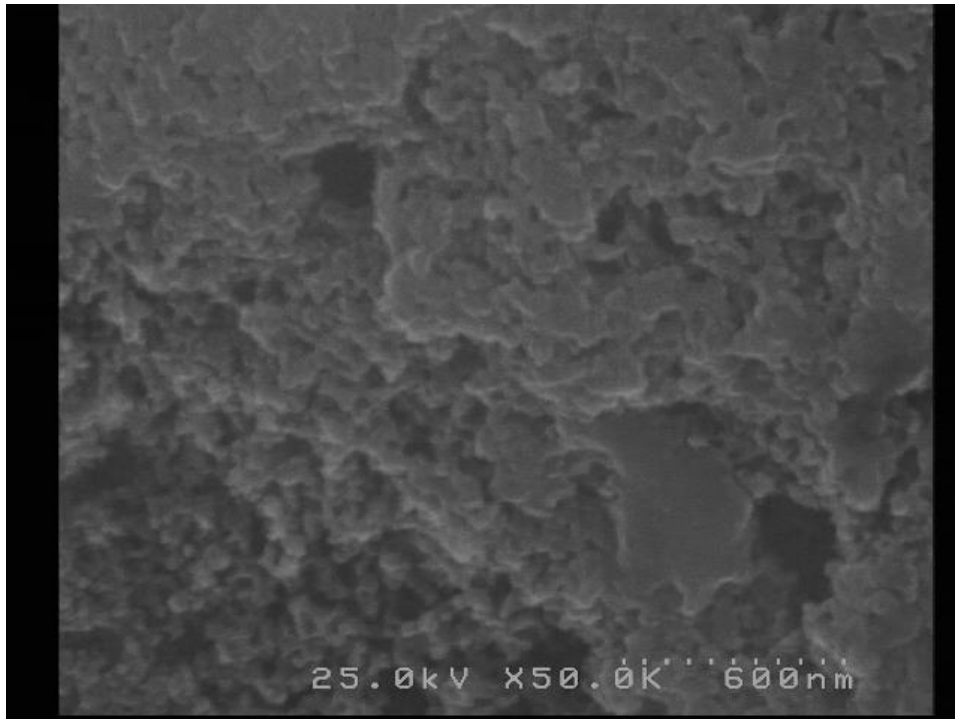


圖 4.6.8 85°電壓 50V 經超音波加工後 x50000

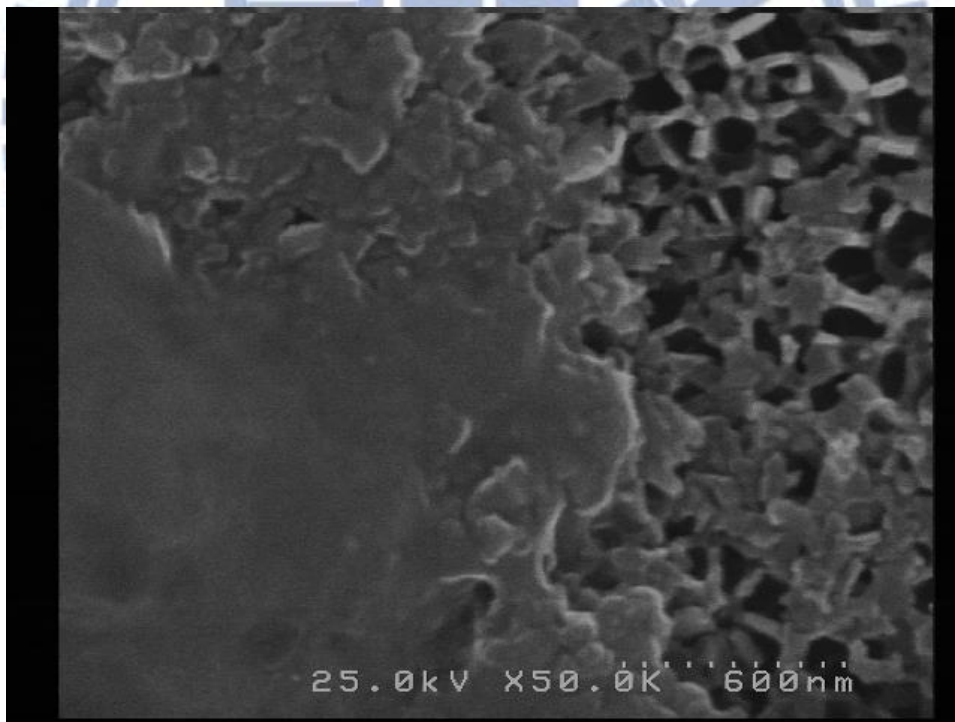


圖 4.6.9 85°電壓 100V 經超音波加工後 x50000

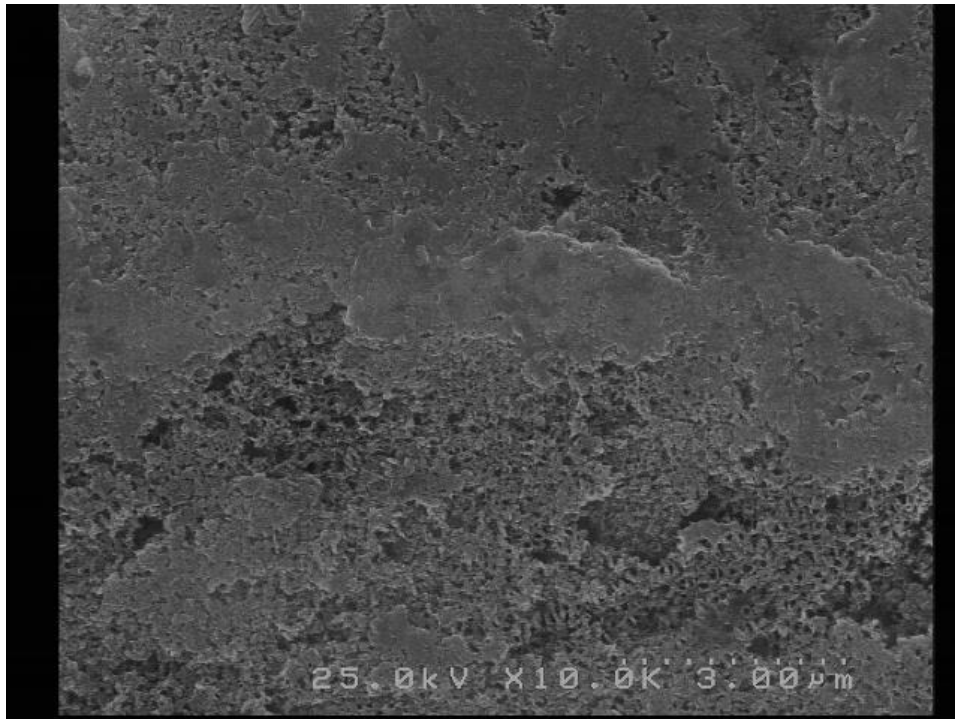


圖 4.6.10 240 號砂紙研磨+陽極+超音波加工 ×10000

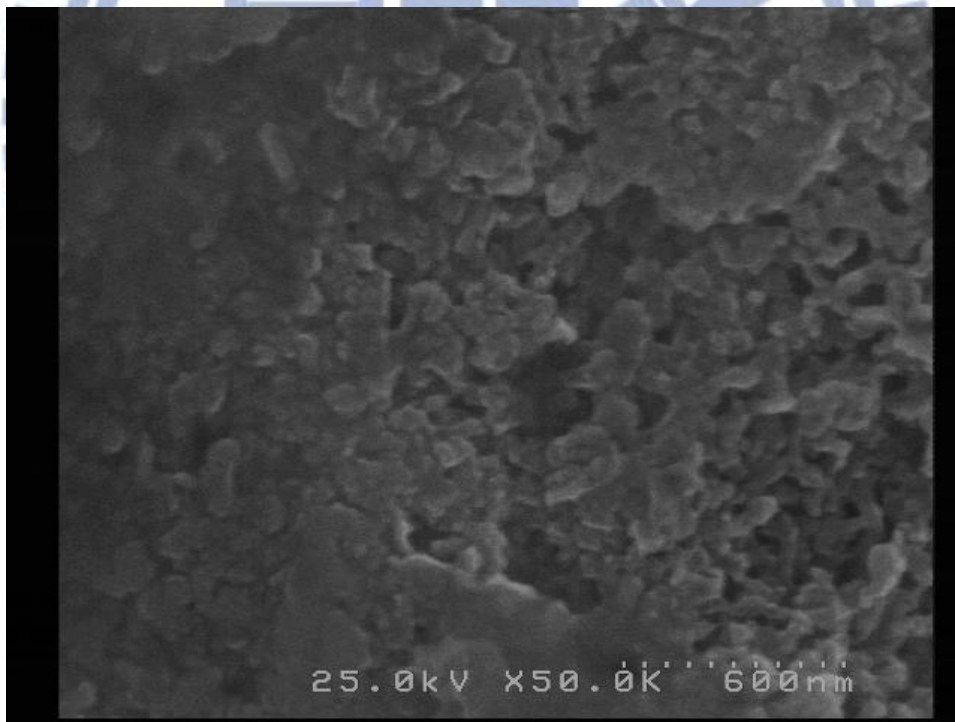


圖 4.6.11 240 號砂紙研磨+陽極+超音波加工 ×50000

4.7 90°與 85°接合強度綜合比較

總體而言，見圖 4.7.1，在經陽極處理之後的接合強度，可由控制陽極處理的電壓參數，去影響其成孔速度、孔洞之結構強度與孔洞之大小，進而由孔洞型態影響整體接合強度，且最重要的是 90°試片之接合強度因陽極處理上升，而 85°試片之接合強度因陽極處理下降。

在砂紙處理的表面上，90°與 85°呈現相似的狀況，即經 400 號砂紙研磨的接合強度會大於 240 號約 30%左右，顯示經 400 號研磨之表面粗度接合強度較 240 號佳。

90°與 85°的原材料試片則呈現與表面粗度無關的現象，因此我們無法對表面粗度與整體接合強度下一個明確的定論，推測是因原材料表面經過線切割之電化學放電加工處理後，產生了表面粗度以外的其他接合機制，如大型孔洞（ μm 等級）的固錨接合，而該孔洞的控制與生成狀況並無法得知，故原材料試片之接合強度會與砂紙研磨產生非線性的結果，原材料之 10000 倍與 30000 倍表面觀察可見圖 4.7.2 與圖 4.7.3。

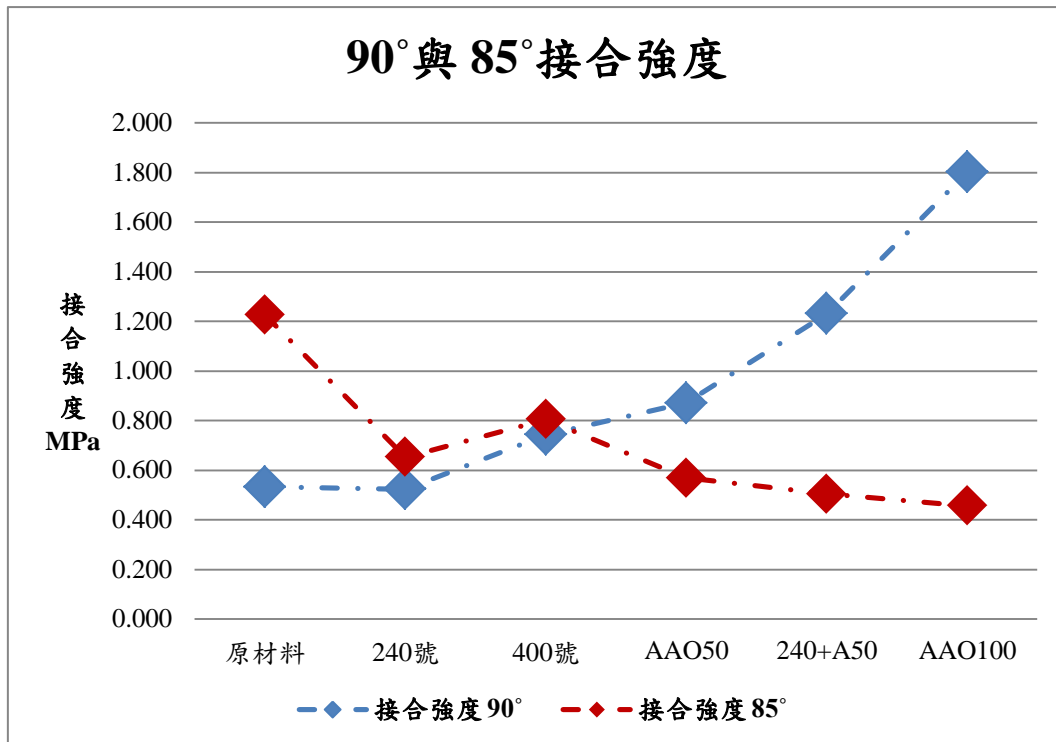


圖 4.7.1 90°與 85°接合強度



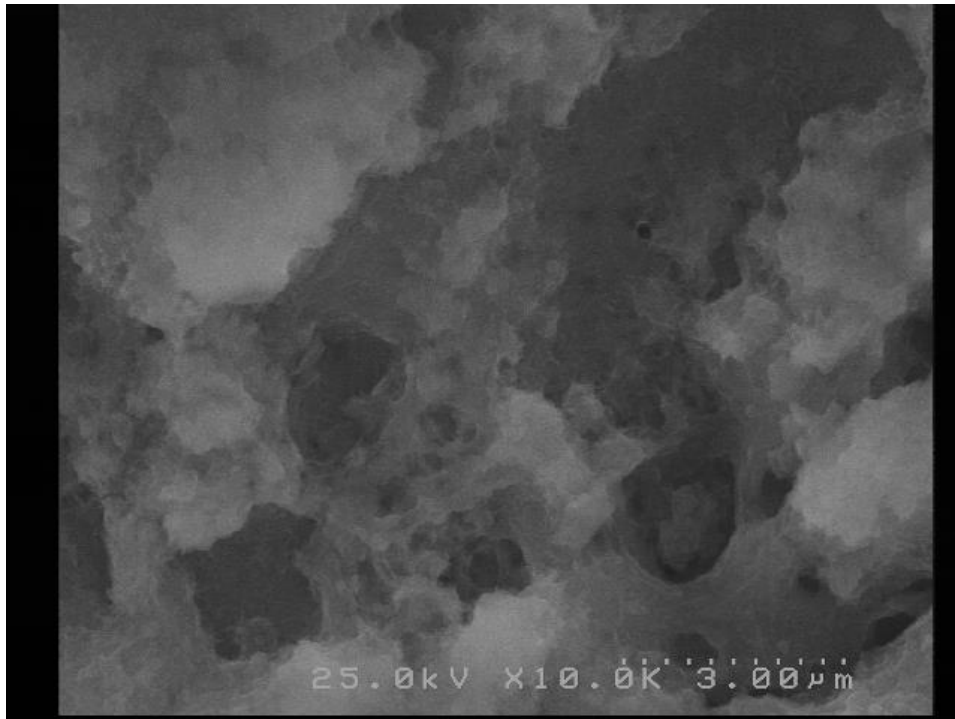


圖 4.7.2 原材料表面 x10000



圖 4.7.3 原材料表面 x30000

4.7.1 90°接合成功分析

為了證明 90°試片是由陽極孔洞來決定接合強度，由觀察 SEM 10000 倍下，90°試片拉伸試驗後之表面（本試片並“沒有”以 95%之丙酮加上超音波洗淨機去除殘留 ABS），見圖 4.7.4(90°陽極電壓 V=50) 與圖 4.7.5 (90°陽極電壓 V=100)，ABS 與表面孔洞緊密接合，且拉伸破斷面可存在 ABS 或陽極表面兩者之間。放大至 50000 倍後，見圖 4.7.6 (90°陽極電壓 V=50) 與圖 4.7.7 (90°陽極電壓 V=100)，更可見到 ABS 的填入陽極孔洞的狀況相當的明顯。

最後，在拉伸試驗後某部分表面殘存著 ABS 薄膜，見圖 4.7.8，可透過該薄膜觀察到 ABS 底下的孔洞樣貌，該薄膜表面就有如黏膠貼附並凹陷至孔洞，接合的現象相當明確，藉由 50000 倍下的觀察，見圖 4.7.9，在中央黑白交錯之斜線處，可以看見 ABS 之破裂邊界呈現鋸齒與圓球狀而非平整裂痕，其形狀與底下之陽極孔洞呈現一定關聯，而右半部白色區域下，可以看見 ABS 幾乎是緊咬者底下的陽極表面，顯現超音波焊接確實能使 ABS 融化，並與鋁合金陽極處理表面的孔洞產生機械固錨接合，進而提升接合強度。

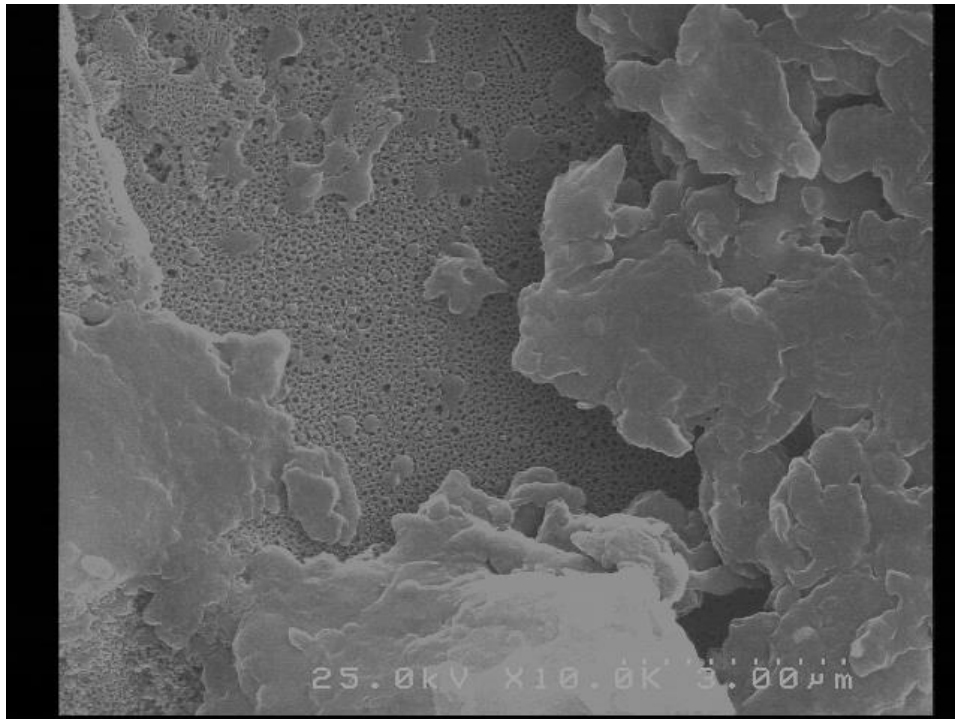


圖 4.7.4 90°陽極電壓 V=50 ABS 進入陽極孔洞 x10000

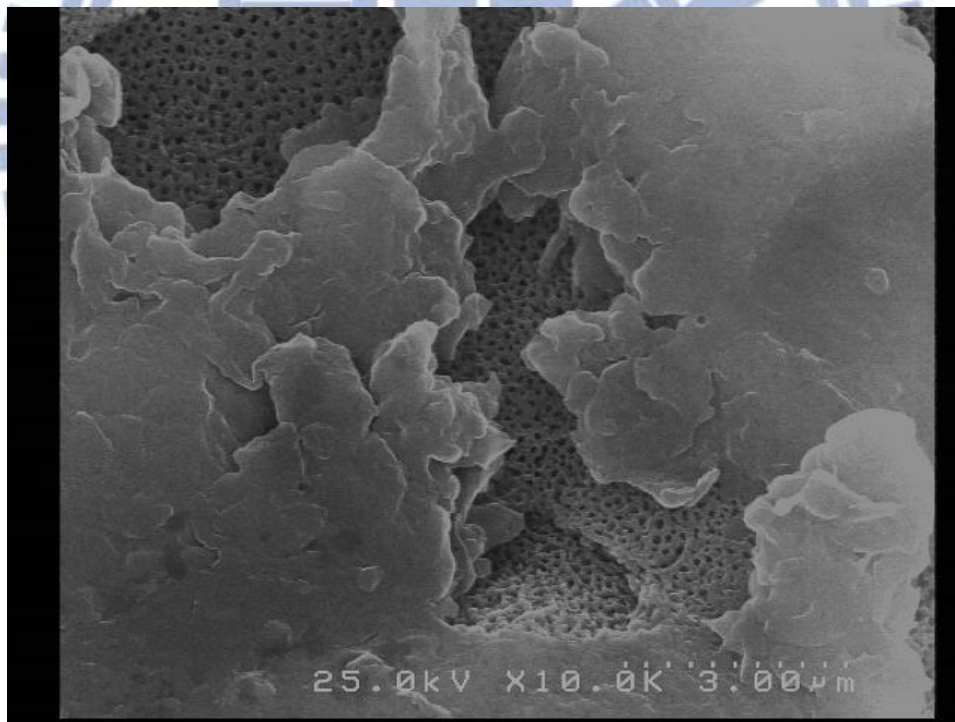


圖 4.7.5 90°陽極電壓 V=100 ABS 進入陽極孔洞 x10000

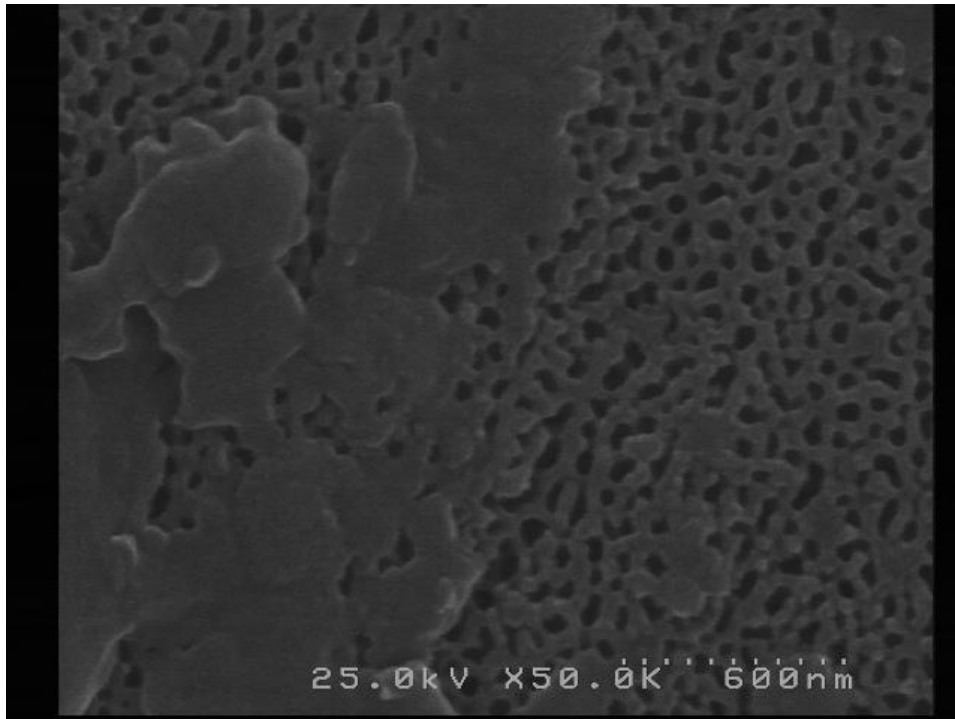


圖 4.7.6 90°陽極電壓 V=50 ABS 進入陽極孔洞 x50000

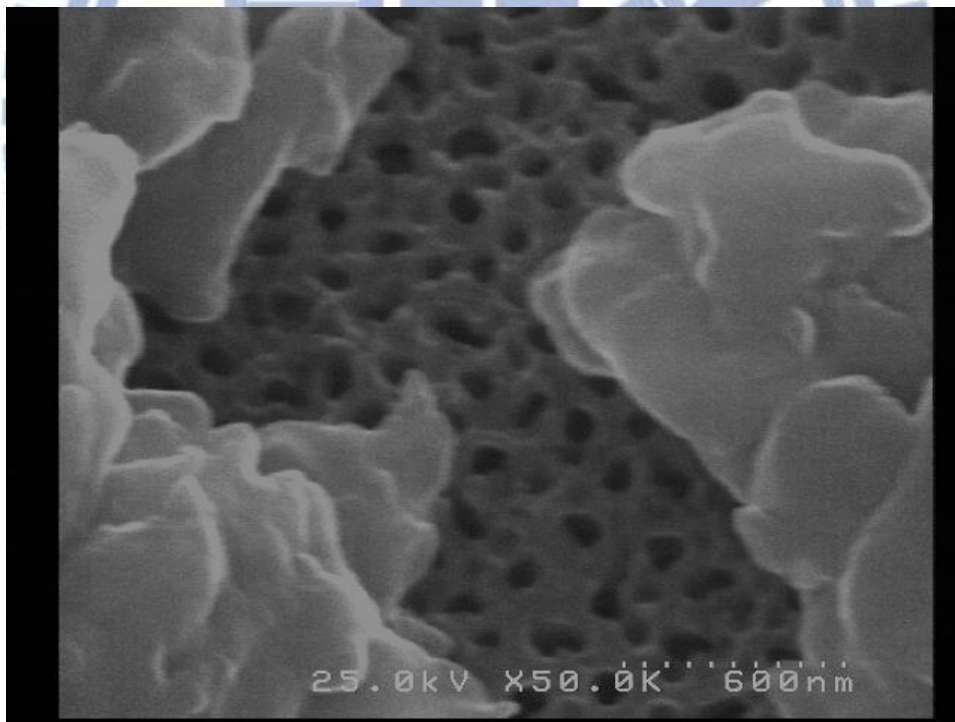


圖 4.7.7 90°陽極電壓 V=100 ABS 進入陽極孔洞 x10000

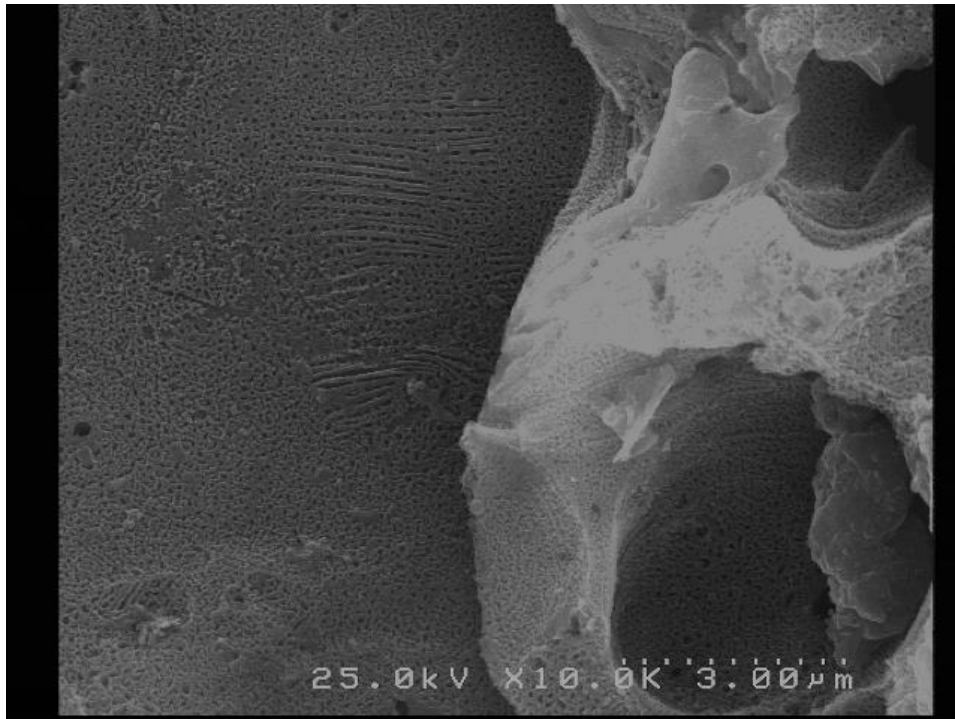


圖 4.7.8 ABS 薄膜與陽極孔洞接合 x10000



圖 4.7.9 ABS 薄膜與陽極孔洞接合 x50000

4.7.2 85°接合失敗分析

最後，為了探討 85°試片陽極處理部分失敗的原因，本實驗綜合 4.6 節之試片觀察結果，定論在特定情況下以超音波焊接供給能量的方式會破壞陽極處理的氧化鋁表面，進而使的整個結合力大幅下降。

此特定情況的加工，我們認為與接合面受壓力與否息息相關，首先，我們必須考慮超音波焊接機震動的方式，本實驗使用之超音波焊接震幅為 0.025mm，其震動方向為上下垂直震動，即 Y 軸方向之振動，焊頭與氣壓缸之運動方向也垂直於 Y 軸。我們可以想像，在 90°加工的狀況下，接合面僅會承受相當微量的 X 方向分力，所以整個陽極處理的表面並不會因超音波焊接而破壞。

但若是 85°加工，接觸面傾斜 5 度的狀況下就完全不同了，由圖 4.7.10 可以發現，在 85°的加工過程中，由氣壓缸以及超音波震盪所提供之力，會有相當大的一部分作用到 X 方向上，使得能量不僅只在剪切 ABS，同時也在快速摩擦陽極氧化鋁表面，最後就產生如 4.6 節的結果，整個陽極表面被壓扁破壞，最終使接合力大幅下降。

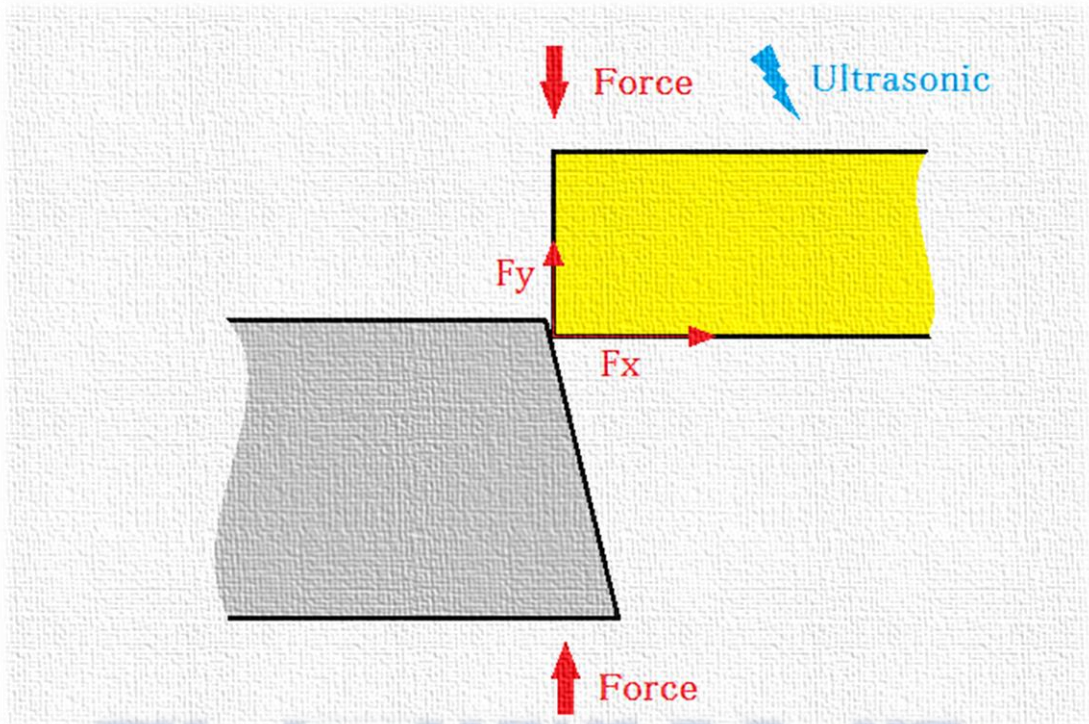


圖 4.7.10 85°接合面受力受超音波震盪



第五章 結論與未來展望

由本實驗之數據與分析可歸納總結出以下幾條重點。同時也將提供本實驗未來可能的延伸發展方向，希望能讓本實驗無論是在建立學術的基石或是應用的基礎上更加的有意義與廣泛。

5.1 結論

1. 以超音波剪接擠入法接合鋁合金與 ABS 時，可以達成 IP57 防水防塵等級的接合面。
2. 表面粗糙度與超音波異質材料接合的接合強度之間無明顯關係，但同時在 85°與 90°兩種試片中，以 400 號砂紙研磨的試片會比 240 號砂紙研磨的接合強度更高。
3. 經陽極處理後的鋁合金表面，若是在受壓力的情況下，再以超音波焊接震盪，其陽極表面易受破壞，進而降低異質材料兩者之間的接合強度（例如 85°的試片受壓力加工時）。
4. 在不破壞陽極處理表面的前提之下（例如 90°試片加工時），藉由提升電壓，可使陽極處理表面的孔洞變大、變深，進而提升異質材料兩者之間的接合強度。若是對較平整的鋁合金表面進行陽極處理，將會使的孔洞變密、且成形更加良好，接合強度也會因此提升。

5. 鋁合金經陽極處理後的表面粗糙度僅微幅提升 3% 至 7% 左右，但在幾乎相同的表面粗糙度之下，陽極處理的試片卻能夠顯著提升 230% 至 330% 的接合強度，該結果顯示，若能運用適當的方式進行加工，陽極處理的表面確實適用以超音波剪切擠入法來進行異質材料接合。

5.2 未來展望

1. 嘗試將超音波剪切擠入接合應用於更薄的鋁合金試片，例如 1-0.7 mm，更符合時下電子產品輕薄短小之需求。
2. 嘗試製作更大、更完整的陽極處理孔洞，例如提升電壓、電流、實驗反應溫度與增加電解液濃度，甚至拉長整體的反應時間，探究不同型態之孔洞參數對超音波剪切擠入接合的影響。
3. 嘗試其他更小的表面粗糙度，例如以砂紙 400 號、800 號、1200 號、2000 號研磨，並搭配上更多樣性的陽極電壓，探討整個表面粗糙度與陽極孔洞之間的影響。
4. 若未來能在 ABS 與鋁合金的接合平面上鍍上一層鋁薄膜，再以陽極處理將鋁箔膜變成為陽極氧化鋁表面。就可以實現一個無接縫，外觀一體成形，且完全沒有電磁遮蔽性的仿鋁合金外殼。

第六章 參考文獻

- [1] TAIPEI TIMES, "The metal casings supplier would benefit from expectations." , from <http://www.taipeitimes.com/News/biz/archives/2014/04/21/2003588500>, (2014)
- [2] 北京拓文科技發展有限公司，from <http://www.sio2cable.com>, (2002)
- [3] Germanischer Lloyd S.E., Hamburg, IEC(International Electro Technical Commission), IEC-60068-2-6 "Environmental testing Edition7.0", (2007)
- [4] 蕭國賢，「6061 鋁合金半固態變形特性及顯微組織變化之研究」，國立交通大學，碩士論文，(2013)
- [5] Jesson Ko, Laird Technologies, "鋁合金應用介紹"，(2011)
- [6] 賴德燦，資堡化學工業股份有限公司，"功能性塑膠之加工與應用"，(2011)
- [7] S. Kruger, G. Wagner and D. Eifler, "Ultrasonic Welding of Metal / Composite Joints**", "ADVANCED ENGINEERING MATERIALS", (2003)
- [8] C. D. Prest, D. Weaver, "Ultrasonic bonding discrete plastic part to metal", Assignee: Apple Inc., United States Patent 8049120 B2, (2011)
- [9] B. Chiang, G.A. Springer, D. B. Kough, E. Ayala and M. I. McDonald, "Microslot antennas for electronic devices ", Assignee: Apple Inc., United States Patent 8373610 B2, (2013)
- [10] 李楨育，「IP67 防水平板電腦設計研究」，國立中央大學，碩士論文，(2011)
- [11] A.P.Li, f MULLE, A.Birner, K.Nielsch and U.Gosele, "Hexagonal Pore Arrays with a50-420 nm Interpore Distance Formed by Self-Organization in Anodic Alumina"

J appl. Phys., 84, 6023, (1998)

[12] 謝明倫,「薄膜式規則性多孔揚及氧化鋁模製作」,國立中央大學,碩士論文,(2006)

[13] 林治濤,「經微弧氧化表面處理之 5052 鋁合金對 PBT 高分子塑料接合強度影響之研究」,國立交通大學,碩士論文,(2013)

[14] 鐘權任,「經電化學處理鋁合金 1050 與射出成形塑料接合效果之探討」,國立交通大學,碩士論文,(2012)

[15] 黃柏諭,「以奈米壓印改善陽極氧化鋁週期性」,國立中央大學,碩士論文,(2012)

