

航太鋁合金厚板銲接之多重品質特性 參數最佳化研究

指導教授：張志平

學生：李祐慈、陳宥璉、許堯恩、賴昭宇、陳昱均
華梵大學工業工程與經營資訊學系

摘要

現代科技不斷地進步，使得金屬被廣泛的運用在各種產品上，航太鋁合金原本是用於飛機結構上的材料，像是機翼和機身，但因為航太鋁合金強度高、重量輕的特性也使其應用在其它的領域中。其中氬銲銲接是最普遍使用的加工技術，但是台灣的銲接加工作業相較於國外，並未出現一套制式的操作模式，完全憑藉著專家過去的經驗來判斷銲接品質之好壞，不僅如此，在銲接工作經驗的傳承上也有很大的困難。基於厚板在實際應用上比薄板廣泛，在銲接時必須使用填料銲接，因此需要增加一台自動填料機來做填料熔接的動作，如此便提高了製程控制的難度，且檢測方式比薄板複雜，故本研究將針對航太鋁合金厚板銲接品質之參數設定進行實驗與分析，找出影響航太鋁合金厚板銲接之關鍵的因子，利用田口方法、交叉分析法與TOPSIS法求得最佳銲接參數水準組合，並建立航太鋁合金厚板銲接之作業標準書以供業界參考。

關鍵字：航太鋁合金、厚板、氬銲、TOPSIS、田口方法

壹、前言

現代科技不斷地進步，使得金屬被廣泛的運用在各種產品上，航太鋁合金原本是用於飛機結構上的材料，像是機翼和機身，但因為航太鋁合金強度高、重量輕的特性也使其應用在其它的領域中。其中氬銲銲接是最普遍使用到的加工技術，但是台灣的銲接加工作業相較於國外，並未出現一套制式的操作模式，完全憑藉著專家過去的經驗來判斷銲接品質之好壞，不僅如此，在銲接工作經驗的傳承上也有很大的困難。航太鋁合金應用已逐漸普及化，因此必須面對如何克服各種加工技術的難題，尤其是銲接技術，銲接原理是利用加熱或同時加以壓力，使銲件材料中原子或離子結合的一種銲接方法，對大型結構或複雜零件的組合，如

造船、汽車、橋樑、航空等工業，仍然是一種常被使用的生產加工結合方式 (JWES, 2009; 焦標強等, 2005)。

然而國內對航太鋁合金厚板銲接的相關研究並不多，以目前台灣銲接工業的體制，承接上大多還是以師徒制為主，此種制度不僅學習速度緩慢，亦可能容易造成失傳的現象，據業界討論，銲接作業還並未出現一套制式的操作模式，完全只能依據專家的經驗來判斷銲接品質，而且在工作技術移轉上也有很大的困難。現今產品隨著科技的發展不斷地求新、求變，而產品品質已非單一品質特性最佳化能夠滿足，必須考慮到大量重要參數及水準，並考慮多重品質特性的同時最佳化。關於多重品質特性最佳化雖然許多學者陸續提出方法來解決此一問題，但這些方法都牽扯到許多複雜的數學模式，使得相關的工程人員不易應用在實務上 (曾衍迪, 2001)。傳統田口實驗設計方法一般僅是用於少量製程參數及水準，對大量重要製程參數及水準之最佳化，則往往需要分段並逐次進行實驗，才能找出適當之參數組合設定。

Tarng and Yang(1998)以母材為厚度1.6mm鈦板為研究對象，利用田口方法以電弧間隙(Arc Gap)、交流極性比例(AC Polarity Ratio)、銲接速度、填料速度與銲接電流為因子，其品質特性為銲道外觀的幾何形狀：前高、背高、前寬與背寬，皆為望小品質特性，經銲接結果得知貢獻度百分比以銲接速度(43.3%)最大，其次是銲接電流(39%)。

基於厚板在實際應用上比薄板廣泛，在銲接時必須使用填料銲接，因此需要增加一台自動填料機來做填料熔接的動作，如此便提高了製程控制的難度，且檢測方式比薄板複雜，故本研究將針對航太鋁合金厚板銲接品質之參數設定進行實驗與分析，找出影響航太鋁合金厚板銲接之關鍵的因子，田口方法是一種被業界廣泛使用的實驗設計方法，主要能改善傳統的實驗設計缺點，在減少實驗次數的情形下，依然能找到接近最佳化參數組合。所以本研究利用田口方法、交叉分析法與 TOPSIS 法求得最佳銲接參數水準組合，並建立航太鋁合金厚板銲接之作業標準書以供業界參考。

貳、研究方法

一、研究架構

本研究經由銲接實驗後所量測之原始數據，利用田口方法計算出個別品質特性SN比及因子水準最佳組合，並經由個別品質特性求得ANOVA和貢獻率等資料，彙整成一個交叉分析表，從中得到一個直觀的最佳解；再來將SN比當作輸入值，藉由TOPSIS方法之計算模式找到各方案優先順序 C_i 值，得到一個粗略的最佳解。最後將上述各種方法所求得的最佳解進行確認實驗的驗證，找到本研究所要之整體最佳參數組合，模式架構如圖1。

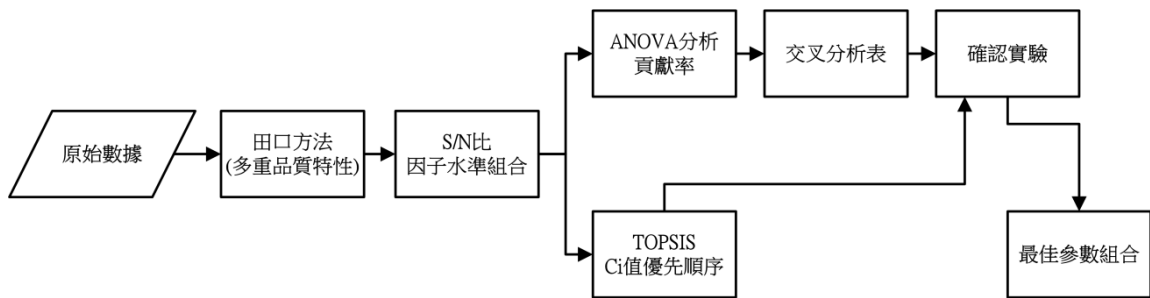


圖 1 模式架構圖

二、TOPSIS

Hwang and Yoon(1981)所發展出來的多準則評估方法稱為 TOPSIS，其基本觀念是同時考慮每個方案與理想解和負理想解的距離，使所選擇之方案離理想解最近，離負理想解最遠。

參、銲接實驗流程與數據分析

本研究經與業界專家進行討論，並且從一些相關的論文中得到一些資訊，開始進行腦力激盪，流程如下：

一、決定品質特性

銲道厚度、衝擊值與拉伸強度為望大特性 $S/N = -10 \times \frac{1}{n} \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$ ，而銲道寬度與熔入深比例則為望目特性， $S/N = 10 \times \log \left[\frac{S_m - V_e}{n \times V_e} \right]$ 。其中 y_i 為品質特性。

1. 銲道厚度

在銲接實驗的過程中，會在鈹材對接處形成熔池，而此熔池冷卻後即形成

銲道，銲道如果愈厚相對的其抵抗外力的強度也會愈大。

量測銲道厚度方面，利用奇異筆在寬度為60mm的對接航太鋁合金板的銲道上，由左至右取20mm、25mm、30mm、35mm、40mm五點與銲道平面中心成90度畫出5條直線，再利用數位式千分表量測取得5筆銲道厚度量測值，最後求取其平均值。

2. 銲道寬度

銲接過程中所形成之銲道也可量測其銲道寬度，過寬的銲道造成熱影響區(Heat-Affected Zone, HAZ)範圍擴大，使得如抗拉強度等機械性質下降(李隆盛，1990)。在鎢電極棒直徑為1.6mm時，銲道寬度不超過4mm(廖明通，1999)。並進行下列量測步驟:

量測銲道寬度方面，利用奇異筆在寬度為60mm的對接航太鋁合金板的銲道上，由左至右取20mm、25mm、30mm、35mm、40mm五點與銲道平面中心成90度畫出5條直線，再利用數位式游標卡尺量測取得5筆銲道寬度量測值，最後求取其平均值。

3. 熔入深比例

首先，使用數位式游標卡尺量測試片正面銲道全長，其次再量測試片熔入深度的長度，並且將數據紀錄下來，計算熔入深比例。

$$\text{熔入深比例} = \frac{\text{銲接厚度(mm)}}{\text{全銲道厚度(mm)}} \times 100\%$$

因為是用目視檢查的方式，因此，儘可能將銲道徹底清潔，讓一些堆疊之熔渣無法掩蓋銲道細微處。然後用放大鏡查看背面銲道熔出的狀態(彭威陵，2005)。

4. 衝擊值試驗

衝擊試驗試片符合中華民國國家標準 CNS 3033 G2022，並符合 V 型凹口試片之規定。如圖 3 所示。

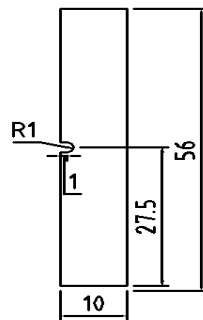


圖3、水刀切割衝擊試片設計圖

5. 拉伸強度試驗

拉伸試驗試片符合中華民國國家標準標準 CNS 2112 G2014，並符合 13B 試片之規定。如圖 4 所示。

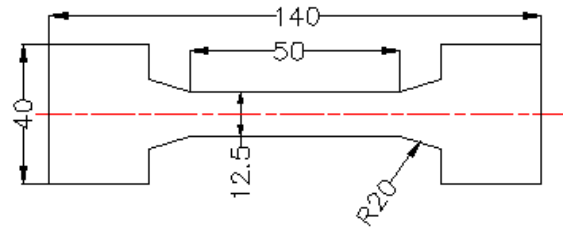


圖4、水刀切割拉伸試片設計圖

二、要因分析與配製直交表

腦力激盪後得到銲接實驗特性要因圖，如圖2所示。本研究由於銲接環境、時間、人力以及設備上的限制，所以將影響品質特性之原因集中於銲接設備之操作條件。找出影響最重要的五個因子，並製作因子水準表如表1。接著選擇L27直交表，雜音因子為不同位置，進行航太鋁合金厚板對接實驗。

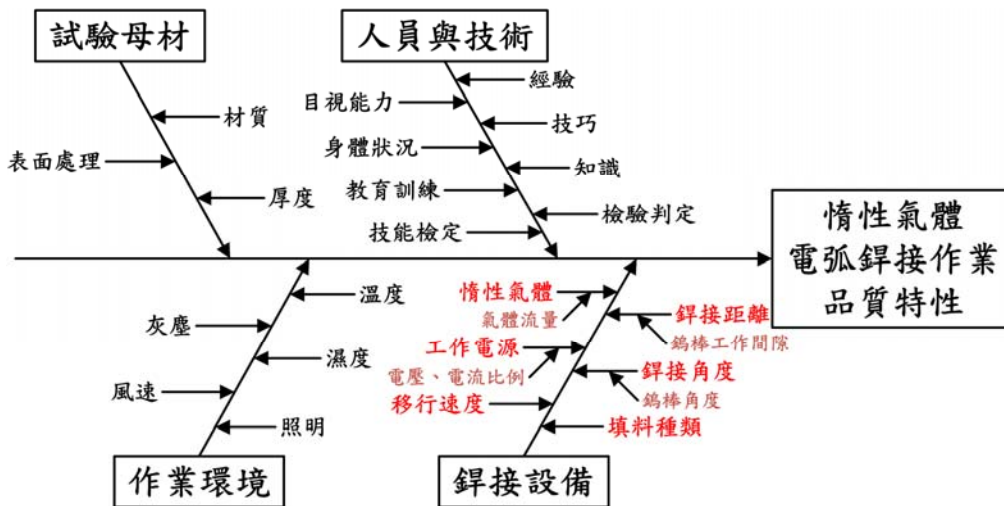


圖2 銲接實驗特性要因圖

表1 因子水準表

控制因子	水準一	水準二	水準三
A 銲接工作電流(A)	170	180	190
B 銲接移行速度(cm/min)	15	16	17
C 銲棒工作間隙(銲棒與母材間隙)	1.5mm	1.7mm	1.9mm
D 銲棒凸出量(mm)	5	8	11
E 氬氣流量(l/min)	11.5	13.5	15

三、數據分析

1. 交叉分析表最佳參數水準組合

透過田口方法之個別品質特性SN比顯著性與變異數分析中所得之個別品

質特性貢獻率，即可做成交叉分析比對表進行評判，而得到此部分之最佳參數組合。如表 2 所示。

表 2 交叉分析表

	A	B	C	D	E	權重 (%)	選擇的理由
鐸道厚度最佳組合	A3	B1	C1	D1	E3	10%	先從是否顯著來看，再從加權後貢獻率判斷，然而此處對拉伸的加權後貢獻率看得較重，其中 C3 及 D2 因子的 SN 比顯著性對於拉伸都有顯著，所以將其列入考慮，而 E3 因子雖然拉伸無顯著，但因為其貢獻率的總和較高，故也將其因子列入考慮，由上述的判斷可以得知，在 ABCDE 五個因子中達到最佳貢獻程度之水準為 A2 B2 C3 D2 E3。
SN 比顯著性	*			*	*		
貢獻率 (%)	17.773	1.853	4.115	43.250	11.681		
加權後貢獻率 (%)	19.551	2.038	4.527	47.575	12.849		
鐸道寬度最佳組合	A2	B2	C3	D1	E2	10%	
SN 比顯著性	*	*	*		*		
貢獻率 (%)	0.059	2.669	5.312	25.965	0.176		
加權後貢獻率 (%)	0.065	2.936	5.843	28.561	0.193		
熔入深比例最佳組合	A2	B2	C1	D3	E2	25%	
SN 比顯著性		*		*			
貢獻率 (%)	15.027	1.566	3.479	36.566	9.876		
加權後貢獻率 (%)	18.784	1.958	4.349	45.707	12.345		
衝擊最佳組合	A3	B3	C1	D2	E1	15%	
SN 比顯著性		*	*	*	*		
貢獻率 (%)	3.599	3.633	3.611	3.632	3.662		
加權後貢獻率	4.139	4.178	4.152	4.177	4.211		
拉伸最佳組合	A2	B2	C3	D2	E3	40%	
SN 比顯著性			*	*			
貢獻率 (%)	6.356	0.227	22.732	15.149	5.980		
加權後貢獻率 (%)	8.898	0.318	31.824	21.209	8.372		
最佳參數水準組合	A2	B2	C3	D2	E3	合計 100%	

2. TOPSIS 最佳參數組合

Hwang and Yoon(1981)所發展出來的多準則評估方法稱為 TOPSIS，其基本觀念是同時考慮每個方案與理想解和負理想解的距離，使所選擇之方案離理想解最近，離負理想解最遠。TOPSIS 之最佳參數組合如表 3 所示。

表3、TOPSIS反應表

	因子	A	B	C	D	E	平均值
Ci (TOPSIS)	Level1	0.45	0.47	0.46	0.34	0.45	0.43
	Level2	0.56	0.55	0.43	0.57	0.53	0.53
	Level3	0.49	0.48	0.61	0.58	0.54	0.54
	差異	0.1	0.08	0.18	0.24	0.14	0.14
	最佳水準	A2	B2	C3	D3	E2	
	排序	3	4	2	1	5	
	顯著性			*	*		

四、確認實驗

確認實驗Ci 的 95% 信賴區間為 [0.44, 1.07]。由表4 得知TOPSIS之最佳組合A2B2C3D3E2經確認實驗後得到Ci值0.9優於交叉分析表且符合95%信賴區間。顯著因子為C和D。

表 4 確認實驗的 Ci 比較

最佳組合	交叉分析表 A2B2C3D2E3	TOPSIS A2B2C3D3E2
Ci 值	0.77	0.90

五、研究結果與討論

觀察本研究之數據分析，可以發現以下結果：

1. 從實際銲接的最佳組合中，若以專家目測其銲道外觀判定，皆有良好的銲接品質，且在銲床加工時，當銲刀經過銲接處時，可以明顯的感覺較難以切削。
2. 從交叉分析表可看出其貢獻百分比，大部分都集中於 D 因子，因此可判定錫棒凸出量對於航太鋁合金厚板銲接品質有著極大的影響，尤其又以銲道寬度、銲道厚度與熔入深比最為顯著。

3. 本研究之 ANOVA 分析結果顯示，在五個品質特性中衝擊的誤差值偏高，原因可能為銲接時使用的鈹材較厚以及實驗樣本經過銲床加工時，使得實驗樣本容易變的脆弱的緣故，因此讓實驗數據分析結果沒有明顯差異。

肆、結論與建議

一、結論

本研究欲提供給銲接相關業者針對銲接參數設定之參考，其實驗對象為航太鋁合金鈹材，並使用田口方法、TOPSIS 找尋各研究方法之最佳參數水準組合。而在驗證實驗的部分以 TOPSIS 值做為主要評比參數水準組合好壞的依據，藉由實驗結果可以找到最佳參數水準組合。研究結論整理如下列兩點：

1. 經由實際銲接實驗時果發現，銲接工作電流及銲炬移行速度這兩個因子為影響銲接品質之最主要因素，透過實驗數據分析發現錫棒凸出量也頗為顯著，業者可依照這三個因子為基準來調整銲接方式。
2. 本研究的驗證實驗以 TOPSIS 值為主要評比參數水準組合好壞的依據，藉由研究結果找到最佳參數水準組合，本研究之驗證實驗最佳參數組合其 TOPSIS 值優於其他的組合。

二、未來研究方向與建議

本研究著重於多重品質特性之最佳化分析，在航太鋁合金厚鈹銲接之研究中，在成本、時間、環境與人力的考量之下，本研究尚有一些改進之處，並期望後續研究能再延伸至不同材料或方法之研究，以下將列出兩點來建議後續研究者之研究方向：

1. 厚鈹填料銲接較薄鈹銲接在技術與設備上還有很多需要克服的地方，建議可以添購自動加溫設備或是 CO2 銲接機來改善實驗的難度。
2. 基於厚鈹材料以及加工費用較為昂貴，建議可以與本校機電系聯合，使用校內的加工用機具以節省成本，而且可以透過實際操作來學習並培養第二專長。

參考文獻

中文部份

1. 焦標強、史耀武、史立豐、雷永平，2005，「銅／鋼材料摩擦銲接頭強度的超聲波檢測」，無損檢測，第 27 卷，第 6 期，頁 288-290。
2. 曾衍迪，2001，「人工智慧在工廠實驗設計之發展-類神經網路實驗設計 (ANNDOE)」，e-safety 工安簡訊，第三期。
http://www.e-safety.com.tw/1_main/103_learning/1037_news/ens03/mail.htm

日文部份

1. JWES，2009，「TIG 溶接 ステンレス鋼・実技のポイント/炭酸ガスアーク溶接 入門篇・基本級篇」，社団法人日本溶接協会。
<http://www-it.jwes.or.jp/index.jsp>

英文部份

1. Hwang, C.L. and Yoon, K., Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag, New York, 1981.
2. Juang, S. C. and Tarng, Y. S., “Process Parameter Selection for Optimizing the Weld Pool Geometry in the Tungsten Inert Gas Welding of Stainless Steel,” J. Materials Processing Tech., Vol. 122, pp. 33-37, 2002.